

# THESES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTE DES SCIENCES DE NANCY

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

**ROGER MULLER-FEUGA**

INGÉNIEUR I.G.N.

---

## 1<sup>re</sup> THESE

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA GEOLOGIE, DE LA PETROGRAPHIE  
ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUES ET MINERALES DU FEZZAN

## 2<sup>e</sup> THESE

EXPOSE SUR LES DIVERSES METHODES DE REPRESENTATIONS  
GRAPHIQUES DES CARACTERES CHIMIQUES DES EAUX.  
APPLICATION A L'HYDROGEOLOGIE

*Soutenues le 27 mars 1952 devant la Commission d'Examen*

---

|      |   |                                    |   |                    |
|------|---|------------------------------------|---|--------------------|
| Jury | { | MM. M. ROUBAULT, <i>Président.</i> | { | <i>Examineurs.</i> |
|      |   | VEILLET                            |   |                    |
|      |   | MILLOT                             |   |                    |

1954

---

IMPRIMERIE OFFICIELLE DE LA TUNISIE  
TUNIS



# FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY

---

*Doyen*..... M. URION  
*Assesseur*..... M. RÉMY  
*Doyens honoraires*..... MM. HUSSON, CORNUBERT

## *Professeurs honoraires :*

MM. DARMOIS (E.), GUTTON, CROZE, DARMOIS (G.), RAYBAUD, FALLOT, LAFFITE.  
BOUIN, LERAY, HUSSON, MAUDUIT, DONZELOT, JOLY, COURTOT, LAPORTE,  
EICHORN, CAPELLE.

## *Maîtres de Conférences honoraires :*

MM. DELATOUR, RAUX, LIENHART

## PROFESSEURS :

| MM.                                               | MM.                                              |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| CORNUBERT.... Chimie organique.                   | DODE..... Chimie physique et Elec-<br>trochimie. |
| LONGCHAMBon.. Minéralogie.                        | VEILLET..... Biologie animale.                   |
| DE MALLEMANN Physique.                            | ECHEVIN..... Botanique.                          |
| CHEVALLIER... Physique.                           | WAHL..... Chimie organique et in-<br>dustrielle. |
| URION..... Chimie biologique.                     | BARRIOL..... Chimie théorique.                   |
| DELSARTE..... Analyse supérieure.                 | N..... Calcul différentiel et in-<br>tégral.     |
| RÉMY..... Zoologie.                               | GOUDET..... Electrotechnique.                    |
| ROUBAULT..... Géologie.                           | OLMER..... Physique appliquée.                   |
| LETORT..... Chimie minérale.                      | BIZETTE..... Physique.                           |
| DIEUDONNÉ..... Mécanique rationnelle.             |                                                  |
| GUÉRIN..... Chimie industrielle.                  |                                                  |
| GAUTHIER..... Mathématiques a p p l i -<br>quées. |                                                  |

## MAITRES DE CONFERENCES :

| MM.                           | MM.                                             |
|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| GODEMENT..... Mathématiques.  | FAIVRE..... Physique de l'état mé-<br>tallique. |
| DUBOIS..... Chimie.           | GIBERT..... Physico-chimie industriel-<br>le.   |
| GUILLIEN..... Physique.       | BOLFA..... Minéralogie.                         |
| AUBRY..... Chimie.            | FRUHLING..... Radiotechnique.                   |
| WERNER..... Botanique.        | GAYET..... Physiologie.                         |
| BESSON..... Chimie minérale.  | MILLOT..... Géochimie.                          |
| CHAPELLE..... Physique.       | N..... Géologie de la Lorraine.                 |
| DAVID..... Chimie biologique. |                                                 |

*Secrétaire*..... M. LAPOINTE

---



Digitized by the Internet Archive  
in 2026

[https://archive.org/details/IA41555804\\_0023](https://archive.org/details/IA41555804_0023)







# THESES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTE DES SCIENCES DE NANCY

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

**ROGER MULLER-FEUGA**

INGÉNIEUR I.G.N.

---

## 1<sup>re</sup> THESE

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA GEOLOGIE, DE LA PETROGRAPHIE  
ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUES ET MINERALES DU FEZZAN

## 2<sup>e</sup> THESE

EXPOSE SUR LES DIVERSES METHODES DE REPRESENTATIONS  
GRAPHIQUES DES CARACTERES CHIMIQUES DES EAUX.  
APPLICATION A L'HYDROGEOLOGIE

*Soutenues le 27 mars 1952 devant la Commission d'Examen*

---

|      |   |                                    |   |                    |
|------|---|------------------------------------|---|--------------------|
| Jury | { | MM. M. ROUBAULT, <i>Président.</i> | { | <i>Examineurs.</i> |
|      |   | VEILLET                            |   |                    |
|      |   | MILLOT                             |   |                    |

1954

---

IMPRIMERIE OFFICIELLE DE LA TUNISIE  
TUNIS

# FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY

*Doyen*..... M. URION  
*Assesseur*..... M. RÉMY  
*Doyens honoraires*..... MM. HUSSON, CORNUBERT

## *Professeurs honoraires :*

MM. DARMOIS (E.), GUTTON, CROZE, DARMOIS (G.), RAYBAUD, FALLOT, LAFFITTE,  
 BOUIN, LERAY, HUSSON, MAUDUIT, DONZELOT, JOLY, COURTOT, LAPORTE,  
 EICHHORN, CAPELLE.

## *Maîtres de Conférences honoraires :*

MM. DELATOUR, RAUX, LIENHART

## PROFESSEURS :

| MM.           |                                | MM.          |                                        |
|---------------|--------------------------------|--------------|----------------------------------------|
| CORNUBERT.... | Chimie organique.              | DODE.....    | Chimie physique et Elec-<br>trochimie. |
| LONGCHAMBon.. | Minéralogie.                   | VEILLET..... | Biologie animale.                      |
| DE MALLEMANN  | Physique.                      | ECHEVIN..... | Botanique.                             |
| CHEVALLIER... | Physique.                      | WAHL.....    | Chimie organique et in-<br>dustrielle. |
| URION.....    | Chimie biologique.             | BARRIOL..... | Chimie théorique.                      |
| DELSARTE..... | Analyse supérieure.            | N.....       | Calcul différentiel et in-<br>tégral.  |
| RÉMY.....     | Zoologie.                      | GOUDET.....  | Electrotechnique.                      |
| ROUBAULT..... | Géologie.                      | OLMER.....   | Physique appliquée.                    |
| LETORT.....   | Chimie minérale.               | BIZETTE..... | Physique.                              |
| DIEUDONNÉ.... | Mécanique rationnelle.         |              |                                        |
| GUÉRIN.....   | Chimie industrielle.           |              |                                        |
| GAUTHIER..... | Mathématiques appli-<br>quées. |              |                                        |

## MAITRES DE CONFERENCES :

| MM.           |                    | MM.           |                                     |
|---------------|--------------------|---------------|-------------------------------------|
| GODEMENT..... | Mathématiques.     | FAIVRE.....   | Physique de l'état mé-<br>tallique. |
| DUBOIS.....   | Chimie.            | GIBERT.....   | Physico-chimie industriel-<br>le.   |
| GUILLIEN..... | Physique.          | BOLFA.....    | Minéralogie.                        |
| AUBRY.....    | Chimie.            | FRUHLING..... | Radiotechnique.                     |
| WERNER.....   | Botanique.         | GAYET.....    | Physiologie.                        |
| BESSON.....   | Chimie minérale.   | MILLOT.....   | Géochimie.                          |
| CHAPELLE..... | Physique.          | N.....        | Géologie de la Lorraine.            |
| DAVID.....    | Chimie biologique. |               |                                     |

*Secrétaire*..... M. LAPOINTE





CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA GÉOLOGIE,  
DE LA PÉTROGRAPHIE  
ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUES  
ET MINÉRALES AU FEZZAN

---





## AVANT-PROPOS

*Pendant 8 ans, le Fezzan s'est trouvé confié à l'administration de la France. L'effort soutenu durant ce laps de temps a donné de magnifiques résultats qui ont été soulignés en avril 1948 lors des consultations de l'Organisation des Nations Unies auprès des populations indigènes.*

*Par sa position, cette contrée saharienne fut soumise successivement à diverses influences de la part des nations voisines. Dès l'époque romaine, les légions pénétrèrent en l'antique Fazania, pays des Garamantes qui l'habitaient alors et dont subsistent des vestiges dans l'Ouadi El Ajal. Les hommes se sont d'ailleurs installés dans les lieux bien avant cette époque puisqu'à Brak, Gatroun, Tejerhe... et plus au Sud encore, existent des stations préhistoriques (Chelléen-Acheuléen). Après avoir subi tour à tour les influences berbère, soudanaise puis arabe, le pays fut soumis dès 1842 à la domination turque; elle fut elle-même suivie, après quelques querelles et révoltes, de la domination italienne, en 1911 pour Tripoli et en 1914 pour le Fezzan.*

*Rejetées après de graves défaites lors de la révolte des Sénoussistes en 1915, puis revenues avec des moyens suffisants en 1929, les troupes italiennes s'y sont alors installées. Les effectifs entretenus permirent le développement d'un commerce local qui favorisa les échanges entre les pays méditerranéens et ceux de l'Afrique tropicale et détourna la main-d'œuvre de l'agriculture. Cette occupation dura jusqu'à l'avance audacieuse et victorieuse des troupes des Forces Françaises Libres du Général LECLERC venant du Tchad, en 1943.*

*Il va sans dire que les tribus nomades et guerrières profitaient de tous ces conflits intérieurs et extérieurs pour effectuer de fructueux rezzous avec leurs cortèges habituels de pillages, d'incendies et de ruines. Les Fezzanais sont encore marqués par cette psychose de crainte et de soumission.*

*De graves épidémies ont, d'autre part, dispersé la population. Si bien que dans certains villages, les surfaces cultivées représentent le tiers et mé-*

me parfois le dixième des superficies autrefois exploitées dont subsistent encore les réseaux de séguias et les ruines des « maisons ». Une telle dépopulation est aussi liée à une existence de plus en plus difficile dans une région où « vivre » est déjà un problème. Pour ces contrées, J. DESPOIS [52] a, en effet, souligné les conséquences funestes de la « capture économique » des pays tropicaux vers les mers équatoriales, par les routes et les voies ferrées : peaux de bêtes, poudre d'or, plumes d'autruches, autrefois sources de revenus pour les caravanes qui allaient vers la Méditerranée et pour les pays transitaires, sont maintenant acheminées par le golfe de Guinée. Il faut également mentionner la suppression du commerce d'esclaves à laquelle toute cette partie d'Afrique fut sensible.

Mais, si l'énergie exploitante du Fezzan va en décroissant continuellement, les capacités et ressources de ce « pays ruiné » restent égales à ce qu'elles étaient autrefois, du temps où l'homme ne disposait que de son ingéniosité, de la force animale et de quelques outils rudimentaires à l'échelle de ses moyens. Actuellement, il importe de mettre en valeur toutes ses richesses connues ou inconnues, et pour cela de les inventorier. Le bilan des ressources hydrauliques et minérales du Territoire fut l'objet des missions que la Direction des Travaux Publics de Tunisie (D.T.P.) envoya au Sahara oriental. Ces missions que je dirigeais, avaient été demandées par le Gouvernement Militaire du Fezzan.

La première y séjourna cinq mois en 1948. Durant celle-ci, parallèlement à l'étude géologique, M. P. DESSUS fut chargé d'étudier les sols fezzanais et les problèmes agricoles.

La seconde y séjourna deux mois en 1949. Par suite d'un grave accident qui nécessita mon évacuation par avion sur Tunis, cette deuxième mission ne put qu'effectuer quelques nivellements et observations hydrogéologiques.

Je remercie M. P. DESSUS, Ingénieur à la D.T.P. et MM. L. BENHAMOU-DA, R. BELLEGARDE et M. PLANUS, agents techniques du Bureau de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques (B.I.R.H.) de la Direction des Travaux Publics, dont la collaboration durant ces deux missions permit de recueillir les matériaux nécessaires à l'élaboration de l'étude hydrogéologique du Fezzan.

Le premier convoi, en particulier, dut se débattre à certains moments au milieu d'ennuis mécaniques souvent fort graves et d'aventures variées provoquées par la rigueur du climat et la nouveauté de certains problèmes. Il est indéniable que si les deux missions purent accomplir leurs tâches dans les meilleures conditions, au milieu de contrées sévères à l'homme, elles le durent à de nombreuses personnes qui, toutes, dans des domaines souvent bien différents, nous accordèrent aide et conseils avertis, voire même pour certaines, leur amitié.



Qu'il me soit permis, sans qu'un caractère conventionnel quelconque soit attaché à ce geste et en m'excusant auprès de tous ceux qu'une omission involontaire m'aurait fait oublier, de remercier ici très vivement M. le Lieutenant-Colonel SARAZAC et M. le Commandant CAUNEILLE, Résidents de France au Fezzan, auxquels j'exprime tout particulièrement ma gratitude. Je remercie également MM. les Capitaines DUPIN, DARAGNES, EMMO, GASPARD, Messieurs les Médecins Capitaines MINVIELLE, REY, TOCHÉPOR, Messieurs les Lieutenants CHALAN-BEIVAL, DALLE, MILLE, FAUCHET, GODDARD, CHIARELLI, ainsi que tous les chefs de postes et les compagnons des différents mess si accueillants où je n'ai bien souvent fait que passer.

Les matériaux et observations rapportés des missions furent multiples; ils donnèrent lieu à des études assez variées lors desquelles j'ai sollicité maints avis et critiques qui me furent toujours extrêmement profitables. J'ai de la sorte contracté une dette de reconnaissance à des titres divers auprès de MM. E. BERKALOFF, J.L. BONNENFANT, M. CAPDECOMME, A. CORNET, A.F. DE LAPPARENT, Mgr G. DELÉPINE, J. DUBIEF, M. GAUTIER, Y. JOUIN, M. LELUBRE, N. MENCHIKOFF, G. NOISSETTE, C. ORLIAC, G. SADRAN, A. VATAN, VEILLÉ et M. WEPPE, avec lesquels les échanges de vue furent pour moi des plus fructueux.

M<sup>me</sup> et M. M. ARNOULD voulurent bien me guider dans les déterminations des faunes secondaires et quaternaires. M. ARNOULD, par surcroît, mit obligeamment ses talents de photographe à ma disposition pour la réalisation de mes planches et participa à la présentation de ce livre. Je les remercie bien vivement de leur amitié et de tous les instants qu'ils acceptèrent de me consacrer.

Je dois un tout particulier hommage à M. J. ARCHAMBAULT pour son enseignement d'hydrogéologie dont j'ai bénéficié; son amitié nous vaut des relations extrêmement fructueuses et agréables; ses critiques sont toujours attentivement écoutées.

Je suis persuadé que j'oublie de nommer maintes personnes dont l'aide, l'accueil, l'expérience ne furent pas des moindres soutiens qui me permirent de mener à bien cette étude. Après l'amabilité, la patience peut-être même dont elles firent preuve alors, je leur demande leur indulgence.

Les moyens mis à ma disposition pour la réalisation des missions, pour l'étude des matériaux rapportés et pour l'élaboration de ce mémoire, ainsi que les conseils, ne m'ont pas été ménagés au sein même de la Direction des Travaux Publics. Je remercie bien vivement MM. J.L. BONNENFANT et J. MATHIEU, Directeurs des Travaux Publics, MM. G. DE FRONDEVILLE et H. NICOLAS, Ingénieurs en Chef des Mines, M. J. TIXERONT, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et M. G. CASTANY, Docteur ès-sciences, Chef du service géologique, dont l'amitié et la compétence me furent particulièrement précieuses.

*Je dois un hommage qu'il m'est particulièrement agréable de rendre à mes maîtres, à M. M. CASTERAS, sous la direction duquel j'ai pris mes premiers contacts avec la géologie, et à MM. M. ROUBAULT, G. MILLOT et G. MATHIEU auxquels je dois ma formation de géologue.*

*Je prie M. MARCEL ROUBAULT de trouver ici l'expression de ma vive et respectueuse reconnaissance pour ses enseignements en soulignant combien cette expression, malgré son emploi répété, demeure fraîche et pleine de sens ici. La clarté de ses exposés, son dynamisme, ses vues nettes et sa grande expérience, qu'étudiant j'appréciais déjà vivement, s'avèrent bien plus précieux encore pour qui entreprend une étude que l'éloignement des foyers universitaires et des laboratoires de France rend souvent très longue.*

*Je suis heureux de pouvoir dire à M. GEORGES MILLOT combien sa compétence, les conversations que nous avons eues, souvent dans le cadre de son foyer, son amitié, sa présence si je puis dire tout au long de la réalisation de cet ouvrage, me furent un soutien et un encouragement. Je lui adresse le témoignage de mon affectueuse et respectueuse gratitude.*

*Les déterminations des faunes et flores primaires qui ne purent être effectuées à Tunis du fait de l'insuffisance des ressources bibliographiques, le furent à Nancy grâce à la compétence et à l'extrême bienveillance de M. GILBERT MATHIEU qui, malgré ses occupations multiples et captivantes, voulut bien me consacrer quelques uns de ses instants. Ses avis, tant dans ce domaine que dans celui de la présentation de mon exposé, furent attentivement écoutés et suivis. Je lui adresse le témoignage de ma respectueuse reconnaissance.*

*Je ne veux pas manquer de remercier bien vivement M. P. BOLFA qui voulut bien mettre à ma disposition le laboratoire et le matériel nécessaires à la séparation et à l'étude des minéraux lourds.*

\*  
\* \*

*Le Fezzan a une superficie comparable à celle de la France. C'est dire que je suis loin de prétendre présenter ici une étude générale très complète; certaines études mêmes ne seront qu'effleurées, telle la pétrographie ou l'étude des ressources minérales. Il reste en outre à poursuivre la prospection minière vers les régions méridionales et septentrionales confinants aux massifs cristallins du Tibesti et du Djebel Fezzan.*

*Quoi qu'il en soit, je sais gré aux personnes qui m'ont permis de réaliser une telle étude. Puisse celle-ci apporter sa contribution, si modeste soit-elle, à la mise en valeur de cette nouvelle terre où peut se manifester l'influence française.*

Nancy, 27 mars 1952.









# CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA GEOLOGIE, DE LA PETROGRAPHIE ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUES ET MINERALES DU FEZZAN

---

## CHAPITRE I

### SITUATION — DONNEES GEOGRAPHIQUES

La région sur laquelle porte cette étude, représente la majeure partie du Fezzan; elle correspond à la zone sud-occidentale de l'ancienne Libye italienne. Elle est ainsi limitée au N. par la Tripolitaine, au N.O. par la Tunisie, à l'O. par le Sahara algérien, au S.O. par l'Afrique occidentale française, au S.E. par l'Afrique équatoriale française enfin à l'E. par le désert de Libye (cf. carte au 1/2.000.000° dans la pochette page 3 de la couverture).

Elle peut être globalement encadrée par les méridiens 10° Est et 16° Est et par les parallèles 23° 30' Nord et 30° 30' Nord, correspondant alors à une superficie de l'ordre de 450.000 à 500.000 km<sup>2</sup>.

#### 1. — Cadre géographique

Son centre est occupé par deux ergs, l'erg d'Oubari et l'erg de Mourzouk, prolongés l'un et l'autre vers le N.E. par deux digitations, le Zellaf et la ramla Marzuchia.

Entre ces deux étendues sableuses, plates ou ridées de dunes en alignements orientés, se trouve un plateau peu élevé et rocailleux, la hamada de Mourzouk qui, vers l'E., devient le sérir el Gattousa.

Au N. du Zellaf se dresse le massif des Gargafs, vallonné, sans relief élevé, sauvage, limité vers le S. par une série de *cuestas* sensiblement orientées E.O., qui plongent sous le Zellaf.

Vers le N., on trouve le djebel Fezzan et le djebel Soda, les *montagnes noires* sur les pentes desquelles s'accumulent les blocs sombres provenant de la désagrégation des terrains éruptifs et des laves de ces massifs peu élevés mais découpés : l'accès en est extrêmement difficile avec des véhicules, à partir de la route qui les traverse.

Au N. de l'erg d'Oubari et à l'O. du djebel Fezzan, s'étire le rebord méridional de la hamada el Homra qui domine d'environ 150 m. les buttes gréseuses des Gargafs et les premières dunes de l'erg. Cette hamada étend ses immenses plateaux jusqu'au Sud-tunisien et au Sud-tripolitain. L'horizon y serait reculé au maximum si les mirages ne venaient pas troubler l'atmosphère, disproportionnant les reliefs et interdisant souvent la visibilité à 300 m. de tout observateur. Elle se prolonge vers l'O.S.O. par la hamada de Tingherth qui domine Fort-Flatters.

Dans le Fezzan oriental se trouvent les plateaux calcaires puis volcaniques du Haroudj dont l'aridité rend toute pénétration délicate. A l'E. de l'erg de Mourzouk, qui est à peu près circulaire, existe une ride montagneuse orientée N.E.-S.O., le djebel ben Guenemma. Au delà, on retrouve les plateaux calcaires qui constituent les éléments méridionaux du Haroudj et, plus au S., avec le sérir Tibesti, les éléments septentrionaux du massif du Tibesti.

Au S. de l'erg de Mourzouk, s'étendent des plateaux et hamadas : monts de Tounmo, hamada Mangueni, plateau du Tchigaï, etc..., qui se trouvent en A.O.F. pour la plupart.

L'O. de l'erg est limité par le prolongement de la hamada de Mourzouk qui s'élève doucement et s'incurve vers le S. donnant le Messak. Celui-ci se poursuit ainsi du 26° parallèle jusqu'au Tropique. Il est bordé vers l'O. par un à-pic souvent supérieur à 150-200 m. et qui décroît progressivement vers le S. et vers l'E. Le Messak constitue une des deux immenses *cuestas* orientées N.S. qui se trouvent dans la partie occidentale du Fezzan. L'autre est formée par le Tadrart qui, vers le N., devient l'Akakous. Chacune de celles-ci domine une large dépression. Celle qui s'étend au pied du Tadrart-Akakous, correspond à la vallée de l'oued Tanezzouft et se rétrécit vers le S., à partir de Ghat.

La bordure occidentale du Fezzan, au-delà de la vallée du Tanezzouft est constituée par une partie de l'enceinte tassilienne qui circonscrit le massif de l'Aghaggar : le Tassili des Ajjer. L'Aghaggar dresse ses massifs déchiquetés hors du Fezzan, au S.O. de ces régions.

La bordure nord-occidentale est occupée par un erg qui est le prolongement vers l'O. de l'erg d'Oubari. Celui-ci, dominé au N. par la hamada de Tingherth, a son centre occupé par le Zegher souvent qualifié de hamada.

Pays essentiellement désertique, le Fezzan est occupé par quatre alignements d'oasis orientés généralement E.O. et installés aux limites d'entités géographiques : Le Chati, le Bouanis et l'ouadi El Ajal, l'ouadi Heutba, la Hofra et la Cherguya, Gatroun-Tejerhe... Ainsi, le Chati, au N., est situé à la limite des Gargafs et du Zellaf; l'ouadi el Ajal, prolongé vers



le N.E. par le Bouanis, après une interruption de 60 kms, est à la limite des ensembles hamada de Mourzouk-sérir el Gattousa, et de l'erg d'Oubari-Zellaf; l'ouadi Heutba, la Hofra et la Cherguya sont à la limite des ensembles hamada-sérir précédemment cités et de l'erg de Mourzouk-ramla Marzuchia. Enfin, au S., le chapelet d'oasis de Gatroun-Tejerhe s'étire entre la pointe méridionale du djebel ben Guenemma et l'erg de Mouzouk. A l'O. du Fezzan se trouvent deux autres zones d'oasis vers Serdelès, et surtout vers Ghat.

Le cadre géographique étant ainsi décrit, précisons que le Fezzan est, en général, moins élevé que les régions qui le bordent. Il s'inscrit ainsi dans la topographie du Sahara oriental sous forme d'une immense cuvette irrégulière dont la superficie est voisine de celle de la France.

Son altitude moyenne se maintient entre 400 et 500 m., sauf dans le Chati, où elle est légèrement inférieure, et dans les régions situées à l'O. d'Oubari et au S. de Gatroun où elle est légèrement supérieure. Les pays limitrophes sont légèrement plus élevés et se trouvent en moyenne entre 600 et 900 m. Il arrive cependant que des crêtes correspondant aux *cuestas* que nous avons mentionnées (Messak et Tadrart-Akakous) s'élèvent jusqu'à 1.000 m. Les altitudes sont plus régulièrement élevées dès qu'on atteint les massifs de l'Ahaggar vers l'O.S.O. et du Tibesti vers le S.S.E.

Le problème des cotes de ce pays reste entier. Les cartes donnent des valeurs différentes suivant le pays éditeur; valeurs donc inutilisables. H. DUVEYRIER [57] dès 1864, apporta des éléments d'appréciation et des mesures non corrigées qui furent en partie reprises sans qu'une vérification générale semble avoir été réalisée.

Contournant ces ergs ou massifs qui constituent des barrières infranchissables pour les camions, des voies de pénétration se faufilent sur tout le territoire en directions sensiblement perpendiculaires. Elles permettent la liaison entre les rivages de la Méditerranée, le Sahara central et l'Afrique Equatoriale par le Tchad. Ce faisant elles empruntent la voie la plus courte; de Tripolitaine, de Tunisie par Derj; de l'Algérie ou du Sahara, par Ouargla ou Ghat et Serdelès; du Tchad par Zouar et Gatroun, les routes qui font du Fezzan le carrefour du Sahara oriental, convergent nécessairement vers Fort-Leclerc.

## 2. — Géographie humaine

Dans le domaine de la géographie humaine, ce caractère se traduit par l'existence, au Fezzan, d'une population « métissée » de blancs, d'arabes, de berbères et de noirs. Le type fezzanais est le résultat des diverses in-

fluences qui se sont tour à tour imposées dans le pays; de ce fait, il est loin d'être homogène.

A côté de ces « habitants », le Fezzan, toujours par sa position, se trouve aux limites de terrains de parcours des grands groupes nomades sans cependant constituer pour aucun d'entre eux, un terrain de prédilection. Ainsi, les Meghara, Hassaouana, Zentane, Oulad Slimane, etc... viennent du N.E. et de l'E. vers le Chafi. Les Touaregs Oraghen, Imanghassaten, et Ken Tin Alkoun de la confédération des Ajjer, viennent du Tassili jusque dans l'ouadi El Ajal et dans l'ouadi Heutba. Les Toubous, nomades noirs, viennent du Tibesti jusqu'à Tejerhe et Gatroun.

Tous ces nomades tendent eux-mêmes à se « sédentariser » et à se « métisser » à leur tour, avec les Fezzanais. Ceux-ci, résultat d'un extraordinaire mélange de races, constituent la majeure partie de la population.

Sur environ 41.000 habitants que comptait le Fezzan en 1948, ce qui correspond à une densité moyenne de 1 habitant pour 10 km<sup>2</sup>, 31.000 sont Fezzanais, sédentaires, agriculteurs, et 10.000, soit 25 %, nomades, semi-nomades, pasteurs ou agriculteurs. La population est à peu près ainsi répartie entre les divers groupes d'oasis qui ont déjà été individualisés :

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| Chafi.....            | 17.000 |
| Bouanis et Sebha..... | 4.600  |
| Ouadi el Ajal.....    | 9.400  |
| Ouadi Heutba.....     | 1.900  |
| Hofra.....            | 4.600  |
| Cherguya.....         | 2.700  |
| Gatroun.....          | 1.700  |

### 3. — Géographie physique

Le Fezzan, carrefour géographique et humain, a un climat saharien : caractère continental, températures élevées, précipitations très rares. Ces questions ont été particulièrement étudiées par J. DESPOIS et surtout par J. DUBIEF.

1° LA TEMPÉRATURE. — On peut remarquer, d'après les relevés <sup>1</sup> effectués à la Station Météorologique de Fort-Leclerc (Tableau 1), que ces résultats ont un caractère saharien plutôt tempéré par la relative proximité de la mer (450 km. environ) et du fait que la gara de Fort-Leclerc se trouve bien exposée aux vents. J. DESPOIS [53, p. 18] a bien fait ressortir cette influence en comparant les températures de localités voisines (Tableau 2).

1. — Ces relevés ainsi que tous ceux dont l'origine ne sera plus précisée, m'ont été aimablement communiqués par la Section de Tunisie de l'Office National Météorologique. Je lui adresse mes vifs remerciements.

TABLEAU 1

## Relevé des températures maxima et minima observées à Fort Leclerc

| INDEX ET ANNEES |        | JANVIER | AVRIL | JUILLET | OCTOBRE | MOYENNE<br>annuelle | AMPLITUDE<br>moyenne |
|-----------------|--------|---------|-------|---------|---------|---------------------|----------------------|
| Max. moyen..... | } 1944 |         | 31° 4 | 39° 7   | 32° 8   | 31° 79              | 13° 38               |
| Min. — .....    |        |         | 15° 6 | 25° 6   | 19° 5   | 18° 41              |                      |
| Max. moyen..... | } 1945 | 17° 1   | 29° 2 | 37° 8   | 29° 7   | 28° 33              | 12° 76               |
| Min. — .....    |        | 6°      | 16° 3 | 24° 2   | 17° 3   | 15° 57              |                      |
| Max. moyen..... | } 1946 | 21° 3   |       |         | 33° 4   | 30° 78              | 17° 48               |
| Min. — .....    |        | 9°      | 30°   | 37° 5   | 17° 5   | 13° 30              |                      |
| Max. moyen..... | } 1947 | 20°     | 28° 5 |         | 32° 9   |                     |                      |
| Min. — .....    |        | 5° 8    | 14° 5 |         | 18°     |                     |                      |
| Max. moyen..... | } 1948 |         | 31°   | 38° 8   | 32°     | 30° 83              | 14° 52               |
| Min. — .....    |        |         | 16° 2 | 21° 3   | 16°     | 16° 31              |                      |

TABLEAU 2

## Tableau comparatif des températures maxima et minima de quelques localités

| LOCALITES               | MINIMA<br>MOYEN<br>Janvier | MAXIMA<br>MOYEN<br>Juillet |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Brak.....               | 1° 3                       | 41° 9                      |
| Sebha-Fort Leclerc..... | 5° 3                       | 39° 6                      |
| Oubari.....             | 2° 4                       | 41° 9                      |
| Mourzouk.....           | 3° 9                       | 42° 4                      |
| Tejerhe.....            | 2° 7                       | 43° 6                      |

2° LES VENTS. — Les vents principaux viennent du N.E. (vent tempé-  
rant en été) et du S.E. Les fréquences relevées à Sebha et à Oubari [27,



p. 94] permettent d'établir les diagrammes de vents. Dans ceux-ci les pointes sont orientées dans le sens dans lequel les vents soufflent; les longueurs à partir du centre, sont proportionnelles au nombre de jours de tel vent rapporté à 100 jours d'observations (fig. 1).

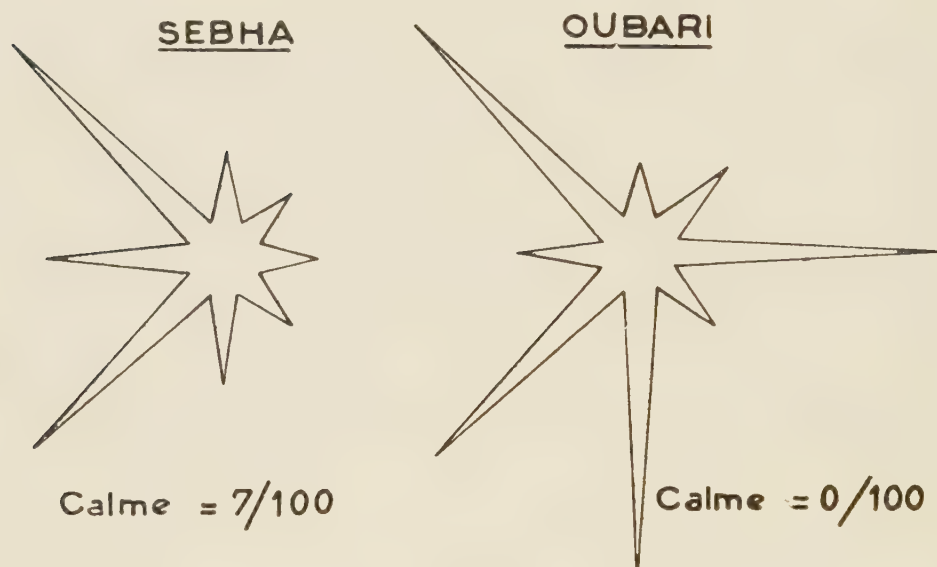


FIG. 1. — DIAGRAMMES DE VENTS. Echelle : 2 mm. = 1 jour de tel vent sur 100 jours observés.

3° LES PLUIES. — Les pluies intéressent des zones d'étendues variables. Les mois d'avril et de mai semblent privilégiés. J. DESPOIS lie celles-ci à des phénomènes orageux et rarement au relief. J. DUBIEF et les auteurs italiens les rattachent plutôt à des pointes extrêmes de la mousson du Golfe de Guinée.

Le Tableau 3 donne la répartition des pluies à Fort-Leclerc (en millimètres). Il est à remarquer que, conformément aux caractéristiques du climat saharien, le total indiqué ici, est le plus souvent atteint en deux ou trois précipitations extrêmement abondantes et soudaines.

La moyenne annuelle atteint le chiffre relativement élevé de 68 mm. pour la période de 5 ans, de 1944 à 1949. Or, d'après une carte obligeamment communiquée par M. J. DUBIEF, les courbes isohyètes passant sur le Fezzan, sont celles de 5 mm., de 10 mm., sur le plateau central (Messak, ha-

mada de Mourzouk) et de 20 mm. sur les confins méridionaux et septentrionaux. Ces courbes ont été établies d'après des mesures effectuées dans toutes les stations pendant une période de 5 ans, de 1935 à 1939 qui semble avoir été particulièrement sèche. M. J. DUBIEF a souligné, en effet, que, si une plus grande période d'observation était utilisée, les mesures obtenues

TABLEAU 3

## Relevé des mesures pluviométriques effectuées à Fort Leclerc

| ANNEES   | 1 <sup>er</sup><br>TRIMESTRE |                      | 2 <sup>e</sup><br>TRIMESTRE |                      | 3 <sup>e</sup><br>TRIMESTRE |                      | 4 <sup>e</sup><br>TRIMESTRE      |                      | TOTAL<br>ANNUEL |
|----------|------------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|-----------------|
|          | MOIS                         | QUANTITÉS<br>tombées | MOIS                        | QUANTITÉS<br>tombées | MOIS                        | QUANTITÉS<br>tombées | MOIS                             | QUANTITÉS<br>tombées |                 |
| 1944.... |                              | 0                    |                             | 0                    |                             | 0                    | Octobre...<br>Nov....<br>Déc.... | 26<br>11<br>3        | 40              |
| 1945.... | Mars...                      | 49                   | Mai....<br>Juin....         | 18<br>12             |                             | 0                    | Octobre...                       | 22                   | 101             |
| 1946...  | Février...                   | 70                   | Avril...                    | 28                   | Sept....                    | 3                    |                                  | 0                    | 101             |
| 1947.... |                              | 0                    | Mai....                     | 15                   |                             |                      |                                  |                      | 15              |
| 1948.... | Mars...                      | 2                    | Avril...<br>Mai....         | 75<br>5              |                             |                      |                                  |                      | 82              |

nues seraient sensiblement et généralement supérieures aux chiffres qui ont servi de base pour le tracé des courbes isohyètes. Le Tableau 4 permet de se rendre compte que ces chiffres doivent être alors multipliés par les coefficients 2, voire même 3 pour une période de 19 ans.

Pour le Fezzan, on pourra donc tenir compte de la sous-évaluation nette de ces mesures. Ces dernières années peuvent d'ailleurs correspondre, par opposition à la période 1935-1939, à une période exceptionnelle pou-

vant réapparaître tous les 20 ou 30 ans. Celles-ci ont pour effet de relever sensiblement (du simple au double ou au triple) une moyenne apparente. Elles ont également une incidence notable sur l'alimentation des nappes comme nous le soulignerons plus loin : une pluie de 50 mm. comparée à une pluie de 10 mm., alimentera une nappe dans un rapport certainement supérieur à 5.

TABLEAU 4

Tableau comparatif des moyennes pluviométriques obtenues sur des périodes différentes

| LOCALITES                             | 1935-1939<br>Période<br>de 5 ans<br>utilisée<br>pour<br>l'établis-<br>sement<br>des courbes | 1926-1945<br><br>Période de 19 ans |                            | 1926-1940<br><br>Période de 14 ans       |                            |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
|                                       |                                                                                             | Moyenne                            | Coefficient<br>voisin de : | Moyenne                                  | Coefficient<br>voisin de : |
| Bilma.....                            | 20,6                                                                                        | 22                                 | 1                          |                                          |                            |
| Djanet.....                           | 11,6                                                                                        | 20,8                               | 2                          |                                          |                            |
| Fort-Flatters.....                    | 11,5                                                                                        | 21,1                               | 2                          |                                          |                            |
| Fort de Polignac..                    | 6,2                                                                                         | 18.5                               | 3                          |                                          |                            |
| Siwa.....                             |                                                                                             | 10,6                               |                            |                                          |                            |
| Ghadamès.....                         | 20,1                                                                                        |                                    |                            | 35,6                                     | 1,7                        |
| Faya-Largeau....                      | 10,5                                                                                        | 52,4                               | 5                          | Sur une période<br>de 12 ans non définis |                            |
| (Annales climatologiques de l'A.E.F.) |                                                                                             |                                    |                            |                                          |                            |

4° L'HYGROMÉTRIE. — On trouve au Fezzan une humidité peu commune au Sahara. Celle-ci est introduite par les vents d'origine marine et par la richesse de certaines régions en eau : ainsi, à maintes reprises, au Chati et dans l'erg d'Oubari, la présence de brouillards très denses, a pu être observée. Des mesures hygrométriques (Tableau 5) au poste de Fort-Leclerc (les mesures des maxima étant effectuées à 6 h., et celles des minima à 12 h.) témoignent de la tension relativement élevée qui existe durant presque toute l'année. Les extrêmes maxima sont souvent voisins de la saturation, même en dehors des mois d'hiver et ainsi jusqu'en avril et dès septembre.



TABLEAU 5

## Relevé des mesures hygrométriques effectuées à Fort Leclerc

|              | JANVIER | FÉVRIER | MARS | AVRIL | MAI  | JUIN | JUILLET | AOUT | SEPTEMBRE | OCTOBRE | NOVEMBRE | DÉCEMBRE | MOYENNES<br>annuelles |
|--------------|---------|---------|------|-------|------|------|---------|------|-----------|---------|----------|----------|-----------------------|
| <u>1944</u>  |         |         |      |       |      |      |         |      |           |         |          |          |                       |
| Moy. max. .  |         |         | 41.1 | 41.9  | 25.1 | 26.6 | 20.9    | 44.1 | 57.2      | 50.2    | 50.5     | 55.5     | 41.30                 |
| — min. .     |         |         | 21.6 | 22.2  | 13.8 | 14   | 12.3    | 21   | 28.1      | 21      | 21.1     | 34.6     | 21.03                 |
| Extr. max. . |         |         | 70   | 70    | 61   | 62   | 43      | 76   | 85        | 83      | 83       | 95       | 71.80                 |
| — min. .     |         |         | 13   | 10    | 10   | 11   | 11      | 11   | 9         | 3       | 7        | 16       | 10.10                 |
| <u>1945</u>  |         |         |      |       |      |      |         |      |           |         |          |          |                       |
| Moy. max. .  | 49.8    | 54      | 51.1 | 33.1  | 35   | 39.3 | 37.2    | 36.6 | 43.5      | 52.7    | 46.2     | 55.2     | 44.4                  |
| — min. .     | 27.9    | 24.7    | 18.8 | 15.7  | 17.4 | 17.7 | 18.8    | 17.1 | 21.2      | 25.5    | 22.6     | 28.9     | 21.3                  |
| Extr. max. . | 76      | 95      | 90   | 73    | 86   | 63   | 71      | 70   | 84        | 79      | 90       | 88       | 80.4                  |
| — min. .     | 10      | 11      | 5    | 3     | 2    | 7    | 3       | 7    | 13        | 12      | 9        | 13       | 7.9                   |
| <u>1946</u>  |         |         |      |       |      |      |         |      |           |         |          |          |                       |
| Moy. max. .  | 46.3    | 55.1    | 31.2 | 27.6  | 34.2 | 19.9 | 32.7    | 39.3 | 63.2      | 40.2    | 56.6     | 64.5     | 42.5                  |
| — min. .     | 23.5    | 26.8    | 12.4 | 11.6  | 17.5 | 9.1  | 14.2    | 21   | 26.1      | 16.9    | 36.4     | 44.6     | 21.7                  |
| Extr. max. . | 86      | 92      | 75   | 87    | 65   | 73   | 56      | 69   | 94        | 80      | 100      | 84       | 80                    |
| — min. .     | 3       | 3       | 1    | 2     | 3    | 4    | 4       | 10   | 16        | 5       | 13       | 30       | 7                     |
| <u>1947</u>  |         |         |      |       |      |      |         |      |           |         |          |          |                       |
| Moy. max. .  | 64.9    | 50.6    | 47.3 | 53.4  | 43.9 | 38.6 |         |      |           | 55.9    |          |          |                       |
| — min. .     | 45      | 34.6    | 26.2 | 28.1  | 24   | 21.7 |         |      |           | 30 2    |          |          |                       |
| Extr. max. . | 95      | 74      | 84   | 98    | 79   | 64   |         |      |           | 84      |          |          |                       |
| — min. .     | 20      | 11      | 6    | 15    | 16   | 12   |         |      |           | 21      |          |          |                       |
| <u>1948</u>  |         |         |      |       |      |      |         |      |           |         |          |          |                       |
| Moy. max. .  |         |         | 64.9 | 57.5  | 37.6 | 42.5 | 50.6    | 51.7 | 54        | 50      | 57       | 77       |                       |
| — min. .     |         |         | 35.7 | 28.8  | 22.4 | 24.9 | 32.4    | 43.1 | 47        | 37      | 46       | 53       |                       |
| Extr. max. . |         |         | 93   | 92    | 76   | 67   | 85      | 84   |           |         |          |          |                       |
| — min. .     |         |         | 13   | 16    | 9    | 10   | 11      | 16   |           |         |          |          |                       |

On pourra constater ultérieurement, que la production annuelle de natron est liée, dans une certaine mesure, à l'hygrométrie et à la température qui règnent à l'époque de la « récolte » (cf. 3<sup>e</sup> partie).

#### 4. — Géographie économique

Grâce à la présence d'eau dans le sous-sol fezzanais, l'agriculture a, de tout temps, trouvé dans ce pays un terrain favorable. De très nombreuses traces de *foggaras*<sup>1</sup> existent dans l'ouadi el Ajal et dans la Cherguya. Elles témoignent de l'activité des anciens habitants de ce pays et, somme toute, de certaines périodes de prospérité contemporaines des périodes de paix dont les palmerais actuelles sont des restes éloquents.

Primeurs et céréales se cultivent en jardins (*seniet*) d'étendues variables, divisés en petits secteurs d'environ 3 m<sup>2</sup> (*djedouals*) destinés à favoriser l'irrigation en retenant l'eau. Celle-ci se fait à partir de un ou plusieurs puits d'où l'eau est tirée par des outres d'environ 12 à 20 litres de capacité (*dalous*) (Pl. XXIII, fig. 5-6). Certains puits sont équipés de 1 à 3 et même 4 dalous, suivant leurs possibilités de débit; un seul dalou peut extraire une quantité d'eau correspondant, en surface, à un débit de 1 litre/seconde. L'intensité du puisage varie avec les saisons : elle est particulièrement grande au printemps<sup>2</sup>. Il est pratiquement impossible d'évaluer les quantités d'eau puisées quotidiennement; les possibilités d'erreur peuvent faire varier les résultats du simple au quintuple sinon plus.

En dehors de quelques primeurs, la production principale consiste en céréales et en dattes : soit respectivement, par an, 25.000 quintaux en deux récoltes, et 6.000 tonnes, qui sont loin de suffire à l'alimentation correcte de la population du Fezzan; pour ce faire, il faudrait atteindre le chiffre de 50.000 quintaux.

Il est certain que l'intensification de l'exploitation des ressources hydrauliques des diverses régions et l'introduction de méthodes judicieuses et modernes de cultures, doivent permettre au pays de se suffire à lui-même; voire même de pouvoir produire suffisamment pour pouvoir satisfaire une partie des besoins des régions sahariennes voisines et prétendre ainsi devenir une sorte de grenier du Sahara oriental et central.

---

1. — Tranchées, couvertes dans le cas présent, amenant par gravité, vers les jardins, l'eau recueillie dans des zones souvent éloignées de plusieurs kilomètres.

2. — Le puisage se poursuit alors durant une grande partie de la nuit. Les tireurs d'eau (*djebads*), pour lesquels ces périodes sont très pénibles, ont cependant quelquefois l'occasion de se reposer: car ils ne puisent pas durant les nuits sans lune.

**PREMIERE PARTIE**

---

**Etude Géologique**

---



Le Fezzan occupe une partie du socle africain. A ce titre, tous les plissements observés sont à très grand rayon de courbure : les pendages toujours très faibles, donnent aux couches une disposition généralement subhorizontale. La plupart des dépôts des divers étages représentés, affleurent autour du territoire du Fezzan, en auréoles plus ou moins régulières et suivies, les dépôts récents se trouvant vers le centre : la région étudiée est en effet comparable à une cuvette. Le socle cristallin et les roches métamorphiques apparaissent extérieurement à celle-ci vers le S.E. et vers le S.O., vers le Tibesti et vers l'Ahaggar. Cependant, les roches sédimentaires gréseuses ou argileuses, rarement calcaires, ne sont pas les seules roches qu'on rencontre au Fezzan : vers le N., vers l'E. et vers le S.E., on trouve en effet, tantôt d'importants épanchements, tantôt des pointements locaux de roches volcaniques.

Les terrains les plus anciens qui affleurent dans cette région sont siluriens. Ils sont observables vers l'O. et vers le S.E. : dans l'un et l'autre cas, ils s'intègrent dans une série cambro-silurienne discordante sur le socle schisto-cristallin. La majorité des dépôts affleurant dans la cuvette étudiée, sont paléozoïques et crétacés ; le plus souvent il s'agit de dépôts néritiques ou continentaux. Une formation lagunaire plus récente, a donné des dépôts calcaires et gréso-marneux qui s'étendent sur une grande part de cette contrée saharienne.

L'étude stratigraphique en a été entreprise par les géologues italiens, notamment par A. DESIO et C. CHIESA, et, sur le plan paléontologique, par P. BORGHINI et C. ROSSI. Elle a été poursuivie par les géologues français, notamment par M. LELUBRE, C. KILIAN, M. DALLONI, P. BELLAIR et A. CORNET, et, sur le plan paléontologique, par N. MENCHIKOFF.

Les connaissances actuelles permettent d'avoir une idée générale de la stratigraphie et de la structure de cette vaste région. Quelques points méritent cependant d'être repris sur lesquels les avis ne concordent pas : il s'agit notamment de l'âge du début de la transgression qui suivit la phase continentale dévonienne et de l'âge de formations de calcaires gréseux et marnes gréseuses très répandues sur tout le territoire.

Nous nous référerons aux observations de nos prédécesseurs lorsque les nôtres s'avèreront incomplètes : la structure très simple de cet immense territoire se prête d'ailleurs facilement à leur utilisation, particulièrement dans les régions que nous n'avons pas pu visiter où affleurent presque exclusivement les couches les plus anciennes de la série du Fezzan : ainsi nous n'avons pas pu parcourir le Silurien inférieur pas plus que le Gothlandien au S. du parallèle de Ghat ; de même, nous n'avons pu étudier le Carbonifère du Fezzan sud-oriental. Vers le N. les Gargafs n'ont pu être étudiés profondément. Les citations concernant ces étalages seront donc particulièrement nombreuses.

## CHAPITRE II

### STRATIGRAPHIE

#### 1. — Le Silurien inférieur

L'Ordovicien, correspondant aux « Grès du Tassili », existe dans la région se trouvant à l'O. du méridien de Ghat, à la limite des territoires des Oasis du Sud-algérien, et de l'ancienne Libye italienne. Plus à l'O., au delà de Djanet, on peut observer le socle schisto-cristallin anté-cambrien de l'Ahaggar, sur lequel les grès reposent en discordance. Ils affleurent sous forme d'une large bande de terrains qui enceint l'Ahaggar et qui, vers le S., finit par se fondre dans la masse de Tenere au delà du Tropique. Ces terrains ont été décrits par M. LELUBRE [82].

P. BELLAIR [6, p. 80] évalue entre 400 et 600 m. l'épaisseur de cette formation qui doit correspondre à la partie inférieure de la série gréseuse observée par C. KILIAN et M. DALLONI [31] au Tibesti. Celle-ci enceint ce massif cristallin qui, comme l'Ahaggar, apparaît en boutonnière dans sa couverture sédimentaire.

On peut donc penser que les grès du Silurien inférieur observés à l'O. du Fezzan, se poursuivent d'une façon continue jusqu'au Tibesti septentrional. Cette série correspond sur toute son étendue à des dépôts de bordure et de plages.

#### 2. — Le Silurien supérieur

##### a) FEZZAN OCCIDENTAL

Le Silurien supérieur est représenté par les « Schistes à Graptolites » ou encore « Argiles du Tanezzouft » d'une part et par les « Grès à *Harta-*

nia » d'autre part. Les *premiers* apparaissent dans la dépression de l'oued Tanezzouft, orientée S.N., limitée vers l'O. par le Tassili des Ajjer et dans laquelle se trouve la localité de Ghat. Cette dépression, qui va en s'élargissant vers le N., a vu s'entasser des masses de sables qui forment des dunes importantes et de véritables petits ergs alignés suivant son axe. Vers l'E., ils constituent la base et même une grande partie des escarpements de l'impressionnante barrière du Tadrart-Akakous (fig. 3 et Pl. XVIII, fig. 2). Les *seconds* correspondent globalement aux escarpements eux-mêmes.

#### ITINÉRAIRES.

L'étude a été menée en allant de Ghat à Serdelès, distants d'environ 130 km. (fig. 2).

Le premier affleurement d'argiles qui ait été visité, se trouve à 19 km de Ghat. Six ont été étudiés, le dernier se trouvant à 21 km de Serdelès. Deux d'entre eux ont livré des fossiles.

Aux kilomètres 41 et 80 (à partir de Ghat) deux itinéraires ont été suivis en directions perpendiculaires de la route. Le premier a mené à mi-pente de la gara des Djenouns vers l'O. et à la base de la série gréseuse, à mi-pente de l'Akakous, vers l'E.; le deuxième a mené aux dunes qui jalonnent la dépression du Tanezzouft vers l'O. et à la base de la série gréseuse, sensiblement à mi-pente de l'Akakous, vers l'E.

Une récente mission nous permet de parcourir la région du Tihemboka et de la sebkhra Amsralad située à une centaine de kilomètres au N. de Serdelès.

#### ETUDE STRATIGRAPHIQUE.

*Historique.* — Il est généralement admis que les Grès à *Harlania* (*Harlania Halli* GOEP.) qui affleurent à l'O. et au S.S.E. du Fezzan, sont d'âge silurien (Gothlandien supérieur dans le cas du Fezzan occidental); ceci depuis une observation de C. KILIAN en 1934 [75] qui a vu « un passage latéral indiscutable aux formations siluriennes de In Djeran ».

En 1941, A. DESIO [49, p. 913] attribue les bancs gréseux du sommet de la série des argiles gothlandiennes, au Ludlow, « donc à la partie la plus haute du Silurien supérieur »; ceci à la suite de déterminations paléontologiques nouvelles. Du même coup, il rapporte les « Grès à *Harlania* » au Dévonien inférieur. Nous n'avons aucun élément pour intervenir dans la discussion. Nous adoptons donc le point de vue, devenu classique, de C. KILIAN.





grande car nous en avons découvert dans des couches dévoniennes ou de passage au Tournaisien, dans le Chati.

*Les Schistes à Graptolites.* — Ceux-ci se présentent en majorité comme des argiles schisteuses très finement litées en petits bancs de couleurs différentes : gris, vert-clair ou violet.

Des affleurements apparaissent souvent assez éloignés de ceux qui constituent l'escarpement de l'Akakous, mais ils se présentent de la même façon. Ça et là, quelques bancs de grès sont intercalés auxquels le jeu sélectif de l'érosion, semble donner une beaucoup plus grande importance qu'ils n'ont en réalité (Pl. XVIII, fig. 1). Ces schistes sont en général friables mais se délitent assez peu facilement. Par endroits, lorsque les couches sont proches de la surface du sol, ils sont très consistants, donnant même l'impression d'être silicifiés comme le sont généralement les grès lorsqu'ils affleurent sur d'assez grandes surfaces dans les garas ou les plateaux.

La série des Argiles à Graptolites, surtout schisteuse et à *Monograptus* à la base, devient plus gréseuse et à *Diplograptus* vers le sommet. Les grès sont en général tendres, fins, blancs le plus souvent, mais aussi ocres, rouges ou gris-vert.

Nous avons récolté des graptolites, devenus indéterminables au moment de l'étude, et *Glossina Thiryi* BARROIS, PRUVOST et DUBOIS.

*Les Grès à Harlania.* — Le faciès marin et profond, impliqué par la nature des dépôts argileux, n'a pas régné en cette région durant tout le Gothlandien; la partie supérieure de cet étage est en effet représentée par des grès à *Harlania*. C'est cette série, qui constitue la majeure partie des escarpements du Tadrart et de l'Akakous, que C. KILIAN dénomme « Grès supérieurs du Tassili » (fig. 3 et Pl. XVIII, fig. 2). Ces escarpements dominent toute la vallée de l'oued Tanezzouft de 150 à 200 m., et plus vers le S., donnant à cette région un caractère très particulier. Celui-ci est accentué encore par les énormes masses montagneuses isolées en avant de la falaise, dans la vallée, telle la gara des Djenouns près de Ghat. Le relief sauvage et dentelé des sommets, les gorges profondément découpés, rendent le paysage particulièrement saisissant.

Au delà de l'arête résistante et quartzifiée constituant le sommet, Tadrart et Akakous ont vers l'E. des pentes progressivement plus douces et largement ravinées par des oueds qui vont se perdre dans la dépression voisine.

Vers le N., vers le Tihemboka et la sebkha Amsralad, nous avons pu constater la lacune du Gothlandien gréseux et du Dévonien<sup>1</sup>.

1. — Cf. Ch. DOMERGUE et R. MULLER-FEUGA : Observations géologiques aux confins algéro-fezzanais (Tihemboka). — C. R. Ac. Sc., Paris, séance du 12 mai 1952, t. 234, pp. 1990-1991.

L'altitude générale de la base de la ride montagneuse se relève notablement vers le S. où elle passe d'environ 700 m. à une altitude voisine de 1.400 m.

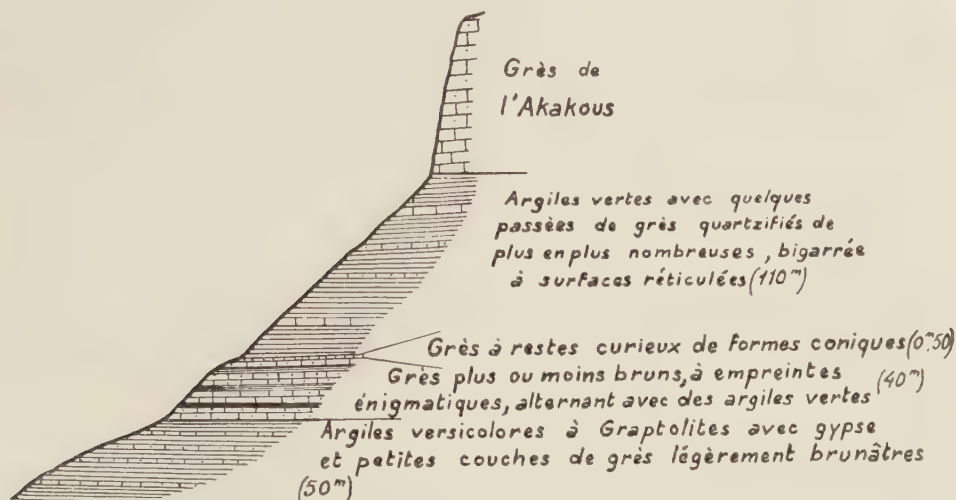


FIG. 3. — COUPE DE LA SÉRIE GOTHLANDIENNE PRÈS DU KM. 45 DE LA ROUTE SERDELES-GHAT. (D'après A. DeSio).

Les grès ont une lithologie très irrégulière : ils sont tantôt massifs, tantôt finement lités, tendres ou à tendance quartziteuse, souvent psammitiques et conglomératiques; leurs couleurs, très variables, sont étendues sur toute l'échelle des teintes. Ils sont plus sombres vers le sommet; on y observe des ripplemarks à des niveaux très différents; ces ripplemarks sont souvent croisés, donnant des petites cuvettes d'une dizaine de centimètres de diamètre. Au sommet, les grès présentent des alternances d'argiles marneuses et de grès en bancs assez importants où les *Harlania* disparaissent. Généralement clairs, ils sont de couleurs extrêmement variées. Des effondrements locaux ont laissé des traces très nettes.

*Pendages.* — Schistes à Graptolites et grès gothlandiens ont un pendage général vers l'E. de l'ordre de 1 à 7° (fig. 4). En fait, celui-ci est assez

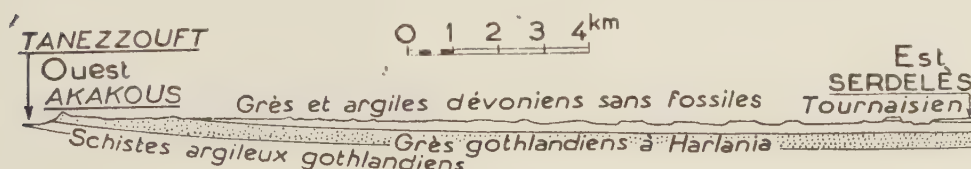


FIG. 4. — COUPE DANS LE GOTHLANDIEN ET LE DÉVONIEN SUIVANT LE PARALLÈLE DE SERDELES



variable en valeur et en direction puisque nous avons observé des pentes de  $12^\circ$  dans des directions variant sensiblement, vers Ghat dans le secteur E. et dans la partie septentrionale de l'Akakous, dans le secteur E. à N.E. Il y a de petites ondulations transversales trahies par des pendages S.O. et O. très localisés. On observe quelques petites flexures et de multiples et faibles décrochements. Notons un affaiblissement très léger des pendages d'O. en E., des avancées de la ride montagnaise vers la vallée jusqu'au fond des ravins qui entaillent l'escarpement plus ou moins profondément.

*Epaisseur.* — L'épaisseur de la formation argileuse est estimée à 200 m. par A. DESIO, évaluation reprise par P. BELLAIR. Celle de la série gréseuse doit être d'environ 200 à 250 m. P. BELLAIR lui attribue « dans les 300 m ».

*Passage de faciès.* — Vers le S., la série gothlandienne devient gréseuse sur tout son ensemble; C. KILIAN a pu observer à In Ezzan, un passage latéral progressif qui s'amorce dès la latitude de Ghat; les couches argileuses passent ainsi aux formations gréseuses de In Djeran qui sont nettement datées par un niveau d'argiles à Diplograptidés.

La partie de la série qui est schisteuse vers l'E., témoin des mers relativement profondes, passe donc, vers In Ezzan, à un faciès néritique. Dans cette direction, le Gothlandien est entièrement constitué par une série gréseuse à *Harlania*, comparable à celle que l'on trouve dans la couverture sédimentaire du massif du Tibesti. Les grès du Silurien supérieur s'ajoutent à ceux du Cambro-Silurien pour constituer une épaisse série poreuse.

#### b) FEZZAN SUD-ORIENTAL

Dans cette direction et en fait en dehors du Fezzan <sup>1</sup>, la couverture du Tibesti est entièrement gréseuse. M. DALLONI a décrit « les Grès moyens » à *Harlania* et les « Grès à *Harlania* et *Spirophyton* » [32]. Les premiers sont argileux, psammitiques à paillettes de muscovite; on y relève des empreintes et des ripplemarks. Les seconds sont épais d'environ 500 m. dont 150 à 200 m. pour la partie supérieure constituée par une roche dure à grains silicieux cimentés par de la limonite, avec des bancs de graviers et des conglomérats. Ce sont les « grès durs à patine rousse pouvant aller à une couleur foncée ou noire vernissée ».

#### c) FEZZAN SEPTENTRIONAL

Dans le Chati occidental, à une vingtaine de kilomètres au N.O. d'Edri, près du puits de Bir el Gasr, M. LELUBRE [86] a trouvé des schistes bleutés riches en *Monograptus*, qu'il identifie aux schistes du Tanezzouft.

1. — Pour ne pas alourdir les subdivisions, nous maintiendrons l'appellation de Fezzan sud-oriental lorsque nous parlerons de la partie de l'enceinte du Tibesti qui confine au Fezzan.

d) *EN RESUME*, le Silurien nous apparaît comme étant essentiellement gréseux dans le Fezzan méridional et plus au S., et comme comportant, dans le Fezzan occidental, dans sa partie supérieure, un important épisode marin représenté par une épaisse série d'argiles schisteuses. Dans le Fezzan septentrional, les traces de ce régime de mer profonde ont été retrouvées vers Edri; mais dans cette direction on ignore l'importance qu'ont pu prendre les dépôts correspondant à cet intermède par rapport aux dépôts gréseux continentaux et néritiques qui les encadrent au mur et au toit.

### 3. — Le Dévonien

#### a) FEZZAN OCCIDENTAL

Il est généralement admis que cet étage englobe la partie supérieure de la série gréseuse du Tadrart et de l'Akakous qui se trouve en majorité sur leurs versants orientaux où elle est composée essentiellement par des grès et par des couches de grès et d'argiles qui affleurent vers Serdelès.

Contrairement à ce que pensaient les auteurs italiens, N. MENCHIKOFF considère [96] qu'il n'y a plus, à la hauteur de Serdelès, de Dévonien marin comme il en existe à l'O. de l'enceinte tassilienne. Nous partageons son point de vue en nous permettant d'y apporter une certaine réserve comme nous le préciserons plus loin.

#### ITINÉRAIRES.

Nous avons pu observer le sommet des formations gréseuses de l'Akakous en remontant vers le N.O. suivant la piste qui mène à Ouargla (fig. 2, p. 25). Dans cette direction la ride montagneuse s'abaisse nettement. Nous avons alors recoupé en direction O.E. une très faible série dévonienne et la série dinantienne suivant un parallèle situé à 30 km. au N. de Serdelès. Nous sommes revenus par un des lits de l'ouadi Oubarracat après avoir effectué une pointe vers le N. où notre progression a été de plus en plus difficile. Une semblable reconnaissance a été menée suivant un parallèle situé à 10 km. au S. de Serdelès. La progression y fut aussi délicate. Sur le trajet du retour vers Fort-Leclerc, nous avons continuellement exploré en de multiples points les abords de la route. Une mission postérieure nous amena plus vers le N., vers le Tihemboka et la sebkhra Amsralad.

## ETUDE STRATIGRAPHIQUE.

*La Série stratigraphique.* — Reposant sur la série de grès et argiles sans fossile qui recouvre elle-même les grès à *Harlania* du Silurien supérieur, se trouve une formation comportant plusieurs bancs de grès et d'argiles déposés suivant une disposition lithologique différente de celle des terrains sous-jacents (fig. 4) : il s'agit d'alternances de grès bruns et rouges très ferrugineux, souvent grossiers à graviers, comme on peut en observer à proximité du Fort de la localité citée, et d'argiles marneuses vertes ou grises à passées gréseuses avec lentilles de marnes limoniteuses contenant de petites concrétions d'hématite dont la couleur noire tranche sur le fond rouge-vif de la marne. Les argiles se présentent de façon très variée : elles sont très dures, morcellées, très finement feuilletées ou compactes. Les bancs ont environ 5 à 10 m. de puissance chacun.

Cette lithologie permet l'existence de *cuestas* et d'une topographie tabulaire où les oueds orientés S.N. ont inscrit de très larges lits. Elle présente une disposition assez analogue à celle que nous rencontrerons dans le Dinantien.

La série, aux latitudes des deux reconnaissances, présente le même aspect que dans la région de Serdelès; mais aucun fossile n'y a été récolté. Plus au N., vers le Tihemboka et la sebkhra Amsralad, nous avons pu constater la lacune du Dévonien et du Gothlandien gréseux.

Les cassures sont extrêmement nombreuses mais ne paraissent pas avoir joué. Toute la série est très fissurée.

*Pendages. Epaisseurs.* — D'une façon générale, les pendages sont très faibles vers l'E.; en fait, ils sont loin d'être réguliers et varient entre 0° et 5° quelquefois, vers l'O.; plus au N., ils sont pratiquement nuls.

L'épaisseur moyenne, difficile à préciser, de toute cette formation sans fossile, doit être de l'ordre de 150 m.

## b) FEZZAN SUD-ORIENTAL

Bien au S. du Fezzan, M. DALLONI a récolté [82] une faune marine pauvre possédant quelques spécimens caractéristiques, en général, de l'Emisien. Il s'agit de grès trahissant un faciès néritique et qu'on rencontre au S. du plateau du Tchigai.

Il admet la présence d'une série gréseuse sans fossile, psammitique et ferrugineuse dans le plateau d'Alabama, au N. du plateau du Tchigai. Celle-ci est comprise entre des affleurements de Carbonifère et des dépôts du



Silurien; mais il ne les place pas pour autant dans le Dévonien. Il classe enfin dans le Nubien les dépôts des monts de Toummo, considérés généralement jusqu'à présent comme dévoniens.

M. LELUBRE attribue au Dévonien, les « grès lités » du sommet de la série gréseuse du Tibesti [83] ainsi que les affleurements situés au S. de Lebo.

### c) FEZZAN SEPTENTRIONAL

Les dépôts gréseux et argileux des Gargafs, reposant sur les dépôts d'argiles à *Monograptus* qui apparaissent localement vers bir el Gasr (p. 28) sont considérés comme étant dévoniens.

D'une façon générale, les grès des Gargafs représentent une formation très continue, constituant une zone accidentée et sauvage qui s'étend depuis l'erg d'Oubari à l'O., jusqu'à la route de Sebha-Tripoli, et au delà, vers l'E. Aucun fossile n'y a été trouvé; aussi, suivant les auteurs, sont-ils considérés tantôt comme dévoniens, tantôt comme nubiens.

Vers le N. cependant, la série d'Aouinet-Ouennin est connue depuis fort longtemps et attribuée, depuis 1854, au Dévonien supérieur.

### I. — LES GARGAFS

#### ITINÉRAIRES.

Cette région inhospitalière a été traversée à plusieurs reprises (fig. 5), suivant les parcours de Edri à el Hassi et Aouinet-Ouennin, le long de la limite Gargafs-Ergs, d'Aouinet-Ouennin à Edri par la nouvelle piste, et à la suite d'excursions menées à partir de certaines localités du Chati. Nous avons également eu l'occasion de la survoler. Trois mauvaises empreintes trouvées dans la région de T'missan, constituent les seuls fossiles récoltés dans ces couches.

#### ETUDE STRATIGRAPHIQUE.

*La série stratigraphique.* — Elle est composée par des alternances de bancs de grès fins et grossiers à stratification entrecroisée de couleur généralement claire (ocre-brun en surface, souvent blanc et gris sur une cassure fraîche) et de bancs d'argiles grises ou vert-pâle coupés de minces filonnets de gypse.

Les grès semblent assez massifs dans la plus grande partie de la série, alors que les alternances sont beaucoup plus nettes vers son sommet (au

N. de T'missan et du Chati en général et au S.E. d'Aouinet-Ouennin). Vers T'missan (Pl. III), plus vers l'O., à 10 km. environ au N. d'Edri et vers le N., des ripplemarks sont observables (Pl. XVIII, fig. 3).

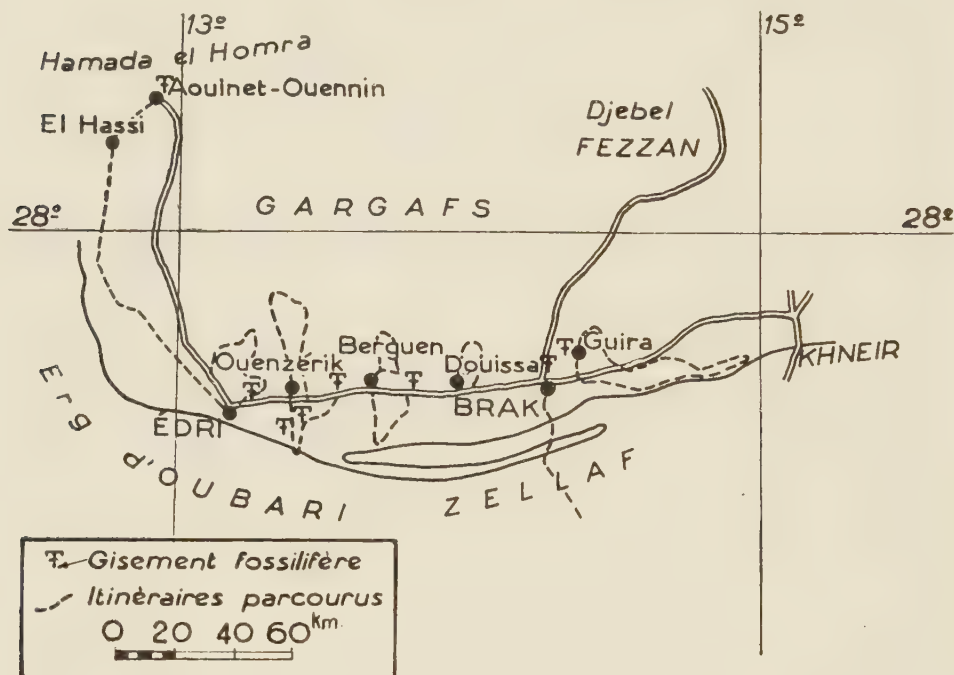


FIG. 5. — PARCOURS EFFECTUÉS SUR LES TERRAINS PALÉOZOÏQUES DU FEZZAN SEPTENTRIONAL

On peut tirer quelques renseignements des sondages réalisés dans cette région. Le sondage réalisé à el Hatya d'Edri (n° I.R.H. 547) n'a pratiquement rencontré que des grès blancs ou ocre, tendres en général, comportant des couches, d'épaisseur variable, de quartzites très dures. Une faible couche d'argile a été recoupée vers 110 m. Il a, sans conteste, été foré entièrement dans les grès dévoniens continentaux des Gargafs. Par leurs positions, les grès et argiles à empreintes de T'missan, viennent au dessus de cette série.

Le sondage réalisé à Ouenzerik (n° I.R.H. 546) a recoupé des couches qui, elles aussi, sauf peut-être dans sa partie supérieure, sont plus anciennes que celles de T'missan. Les couches rencontrées sont constituées par des grès très tendres et quelques passées argileuses vers le sommet. Il y a eu également des passées de quartzites d'épaisseurs variables (vers 70 m. notamment). Ces quartzites, qui purent être carottés, laissent voir une imprégnation de grains de pyrite disposés suivant le plan de stratification (28°) et de nombreux débris de lignite. L'origine continentale de ces cou-

ches est donc des plus probables. Les couches situées au dessus de cette cote peuvent appartenir à la phase marine à laquelle les empreintes signalées, et dont nous allons parler, doivent elles-mêmes appartenir.

*Pendages. Epaisseurs.* — Les pendages sont nuls en moyenne. En fait les couches sont affectées par une série de petites ondulations. Vers le Chati les pendages sont très faiblement dirigés vers le S. (28° exceptionnellement dans le forage de Ouenzérik). Vers Aouinet-Ouennin, les couches plongent, vers le N.N.O. avec un pendage très faible ne dépassant pas 5°. D'où la disposition en plateaux et garas. Le village de T'missan, situé près d'Edri, est bâti sur et dans l'une d'elles.

Les traces de cassures sont multiples; celles-ci ne paraissent pas avoir d'importance structurale : il s'agit plutôt de basculements ou d'effondrements locaux.

L'épaisseur de cette série essentiellement gréseuse, est très difficilement appréciable, mais peut être de l'ordre de 300 à 350 m.

*Les empreintes.* — Elles ont été relevées dans une petite falaise située à 800 m. à l'E. de T'missan. Elles proviennent donc de la partie supérieure de la série dévonienne. Elles ont été relevées dans des alternances d'argiles gris-vert, gypseuses, compactes et de grès grossiers à stratification entrecroisée (Pl. XXXIII, fig. 3a, 3b). Les unes font penser au *Verillum* (schistes pourpres de Bretagne) ou au *Cancellophycus*, Gorgonidé du Jurassique; les autres sont des *Spirophyton* (peut-être thalles d'algue); enfin les troisièmes correspondent à des traces de Brachiopodes (*Discina* de grande taille) écrasés, très comparables à des traces relevées vers Guira dans le Tournaisien.

Les empreintes de Spongiaires ou de Gorgonidés, d'Algues et de Brachiopodes trahissent le caractère marin des dépôts de cette région. Les indices manquent pour savoir s'il faut les considérer comme étant du Dévonien supérieur, d'une période intermédiaire, ou simplement du Tournaisien.

L'étude stratigraphique ne peut nous être d'aucun secours pour préciser ce point car, ici comme à Serdelès, la disposition des couches de grès et d'argiles de cette partie considérée comme étant le sommet de la série dévonienne, est très semblable à celle du Dinantien. L'étude pétrographique des grès dévoniens ne permet pas d'établir une différenciation avec ceux des autres dépôts.

## 2. — LA SÉRIE D'AOUINET-OUENNIN

Les conclusions paléontologiques amènent à penser que les couches marines observées doivent appartenir à une période de passage entre la

Famennien et le Tournaisien. La faune récoltée n'est cependant pas suffisamment importante pour conclure dans ce sens de façon nette. Aussi, tout en apportant une certaine réserve, la série d'Aouinet-Ouennin est abordée, de façon classique, dans l'étude du Dévonien supérieur auquel elle est attribuée depuis le voyage d'OVERWEG en 1850.

#### ITINÉRAIRES.

L'akba d'Aouinet-Ouennin, par laquelle on accède de la dépression qui ceint le grand erg d'Oubari, au plateau de la hamada el Homra situé à près de 150 à 200 m. plus haut, se trouve au fond d'une profonde découpure qui s'enfonce et ravine la bordure du plateau (Pl. XVIII, fig. 4 et fig. 6 infra).

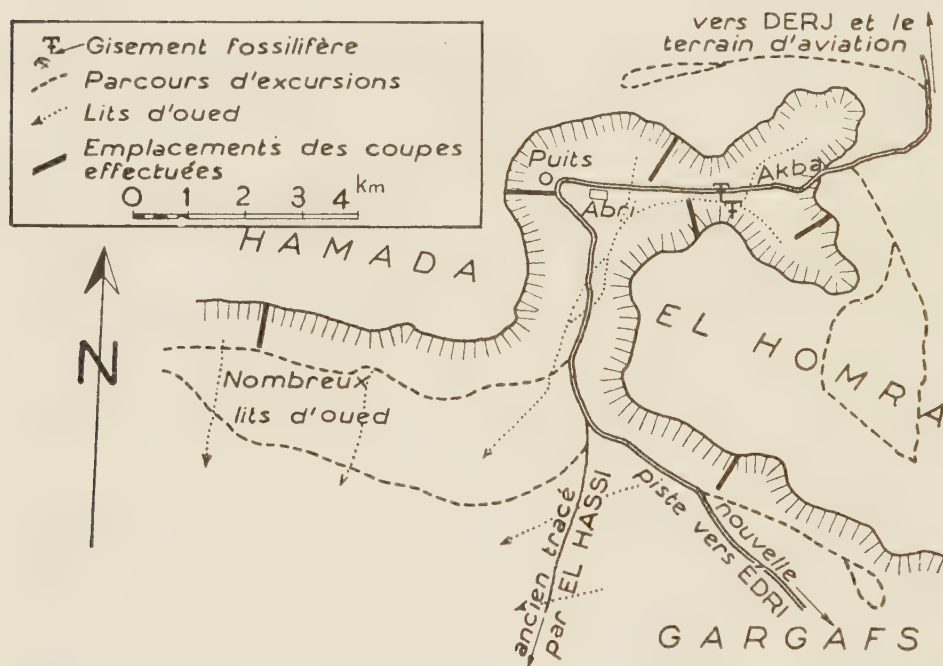


FIG. 6. — PARCOURS EFFECTUÉS DANS LA RÉGION D'AOUINET-OUENNIN (FEZZAN SEPTENTRIONAL).

Le réduit et ses abords, de part et d'autre du goulet qui mène à l'akba, ont été explorés en pratiquant des coupes jusqu'au sommet du plateau.

On peut ainsi établir une coupe de la série et trouver deux bancs fossilifères, véritables lumachelles, très voisins l'un de l'autre, qu'il est possible de suivre quelques temps; ils se trouvent dans les couches dévoniennes au S. de la route dans un ravin d'oued, sensiblement aux deux tiers de la



distance qui sépare le puits du point où la route amorce sa forte montée vers la hamada.

#### ETUDE STRATIGRAPHIQUE.

Les alternances de grès et d'argiles qui constituent la partie supérieure de la série des Gargafs, affleurent à l'E. du goulet d'Aouinet-Ouennin, au N.E. de la piste qui mène à Edri. Nous n'avons pas observé de discordance ou de conglomérat marquant la base de la transgression marine. Comme vers Serdelès, les couches paraissent cependant plus ferrugineuses.

La série paléozoïque marine est représentée dans la figure 7; sa base se trouve au fond de l'entaille qui est située à gauche de l'akba lorsqu'on descend vers le puits. Elle est essentiellement constituée par des grès en

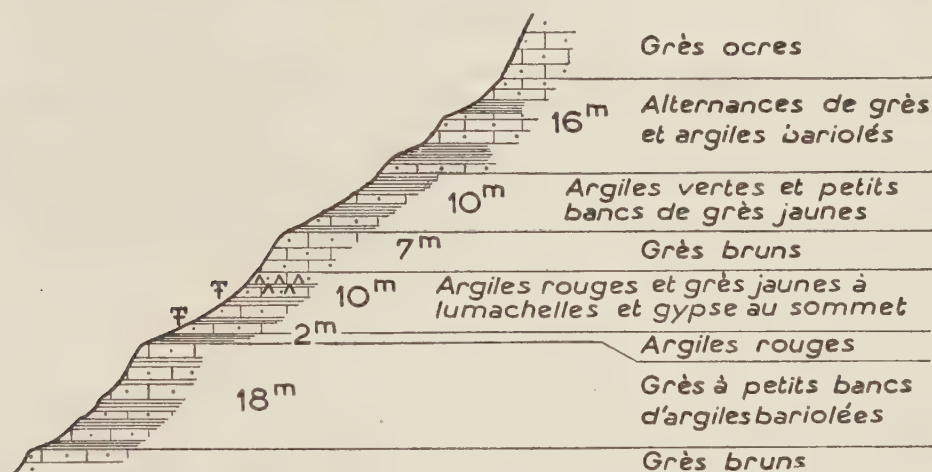


FIG. 7. — COUPE DE LA SÉRIE PALÉOZOÏQUE D'AOUINET-OUENNIN

majorité ferrugineux (surtout vers la base), à fines passées de gypse fibreux, et des argiles de toutes les couleurs. Ça et là on trouve des pisolithes d'aragonite.

Les éboulis gênent considérablement les observations et empêchent notamment de poursuivre les bancs au delà d'une certaine distance.

Ces formations sont affectées d'un pendage variable de 3° à 8° vers le N.N.O. L'épaisseur des couches visibles dans l'entaille d'Aouinet-Ouennin est de l'ordre d'une centaine de mètres.

## ETUDE PALÉONTOLOGIQUE.

Les gisements relevés se trouvent dans des couches de faciès néritiques, probablement même de bordure : les grès ocreux ont une granulométrie extrêmement irrégulière d'une couche à l'autre et certains bancs fossilifères livrent des éléments brisés alors que d'autres donnent des spécimens intacts.

*Historique.* — Les premières déterminations ont été publiées par E. BEYRICH en 1852 [10]; elles portaient sur les fossiles récoltés par OVERWEG en 1851.

F. FRECH les confirma [58] en 1897, après en avoir repris l'étude et apporté quelques modifications à la détermination de certaines variétés. Enfin P. BORCHI, en 1939, donna [14] la liste des fossiles récoltés par C. CHIESA; 13 espèces ont ainsi été décrites. Ces études confirment la première attribution de la faune d'Aouinet-Ouennin, au Dévonien supérieur.

TABLEAU 6

## Répartition stratigraphique des espèces d'Aouinet-Ouennin

| ESPECES RECOLTEES                                    | FAMENNIEN | STRUNIEN | DINANTIEN   |        |
|------------------------------------------------------|-----------|----------|-------------|--------|
|                                                      |           |          | TOURNAISIEN | VISÉEN |
| <i>Liorhynchus Laura</i> BILL.....                   | +         |          |             |        |
| <i>Rhynchonella letiensis</i> GOSS..                 | +         | +        |             |        |
| <i>Orthotetes crenistria</i> PHILL....               |           | +        | +           | +      |
| <i>Striatifera undata</i> DEFR.....                  |           | ?        | +           | +      |
| <i>Phillipsia gemmulifera</i> PHILL..                |           |          | +           | +      |
| <i>Spirifer fezzanensis</i> nov. sp. G. MATHIEU..... |           |          |             |        |

*Age de la formation.* — La faune qu'a décrite P. BORCHI n'a pu être retrouvée en totalité (elle compte 5 espèces supplémentaires). Elle appartient généralement au Dévonien supérieur, à part *Spirifer mucronatus* HALL dont cet auteur étend le domaine stratigraphique du Dévonien moyen au Dévonien supérieur. Nous n'avons pas cru pouvoir identifier à cette espèce, les empreintes correspondantes qui abondent.

La conclusion à laquelle conduit le Tableau 6, est que cette formation appartient à un Dévonien tout à fait supérieur. La faune tend à caractériser une zone de passage entre Dévonien et Dinantien mais sans cependant qu'aucune espèce soit suffisamment démonstrative. Il a déjà été dit que c'est la raison pour laquelle le point de vue classique a été conservé.

d) *EN RESUME*, comme l'a fait remarquer M. LELUBRE, le Dévonien n'est complet en aucun point. La plupart du temps, ses dépôts s'ajoutent à ceux du Silurien pour constituer une très épaisse série à prédominance gréseuse, interrompue vers l'O. et le N. par l'incursion marine momentanée du Gothlandien inférieur.

Le critère sur lequel les auteurs français se fondent pour dater la base de la série dévonienne, est l'absence d'*Harlania* rencontré couramment dans le Silurien supérieur. Les auteurs italiens ne semblent pas admettre cette distinction puisqu'ils attribuent au Dévonien les grès à *Harlania* de l'Akakous par exemple.

Le sommet de la série dévonienne continentale présente une disposition lithologique qui se perpétuera durant le Dinantien. Vers le Chati, il semble qu'on puisse y trouver des traces du début de la phase marine qui verra son apogée au Dinantien. Plus au N., vers Aouinet-Ouennin on trouve les traces d'une transgression marine contemporaine du Dévonien tout à fait supérieur, voire peut être d'une zone de passage identifiable au Strunien.

#### 4. — Le Dinantien

C'est le seul étage marin du Carbonifère : il apparaît en auréole interrompue vers l'E., sur tout le pourtour du Fezzan et dans les régions du S. qui l'avoisinent. On peut parfois le subdiviser en ses deux sous-étages, le Tournaisien et le Viséen, qui souvent apparaissent individuellement dans des régions différentes.

#### 5. — Le Tournaisien

Il n'apparaît qu'en deux régions : à l'O. et au N. du Fezzan.

##### a) FEZZAN OCCIDENTAL

Il affleure suivant une zone méridienne située en majeure partie à l'E. de Serdelès. En s'éloignant de cette localité vers le N., ses affleurements se déplacent sensiblement vers l'O.

## ITINÉRAIRES.

D'assez nombreux itinéraires ont pu être suivis dans toute cette région durant notre voyage de retour Ghat-Serdelès-Oubari (fig. 2, p. 25). Nous avons pu en mener deux au N. de la route; suivant l'un d'eux, nous avons emprunter la route de Ouargla (p. 29) et sommes revenus à 30 km. environ au N. de la route Serdelès-Oubari; après un crochet vers le N. nous avons rejoint celle-ci par un lit de l'oued Oubarracat. Un autre, quittant la route plus vers l'E. nous mena à 60 km. au N. : le parcours fut assez difficile dans son ensemble; après environ 50 km., nous avons trouvé un erg sableux semé de quelques rares siouf, puis des affleurements gréseux subhorizontaux couverts de dunes qui constituèrent un obstacle définitif : nous avons trouvé là de nombreux brachiopodes, probablement des Rhynchonelles, usés, indéterminables et de grandes plaques de ripplemarks. Nous sommes revenus à la route par un des lits d'oueds voisins de l'oued Tisselatine. Au S. de la route, nous avons pu en mener deux parallèles à celle-ci à environ 10 km. Les abords de la route ont été minutieusement explorés. Six gisements fossilifères ont été prospectés. Récemment une mission nous conduisit jusqu'au Tihemboka et à la sebkhra Amsralad.

## ÉTUDE STRATIGRAPHIQUE.

La série est constituée par des alternances de bancs de grès et d'argiles d'une dizaine de mètres chacun; elle repose sur la série dévonienne sans fossile, débute légèrement à l'O. de Serdelès et englobe la « série de l'oued Oubarracat » de A. DESIO.

*Historique.* — Dès 1851, à la suite du voyage d'OVERWEG entre Mourzouk et Ghat et des déterminations de E. BEYRICH, l'existence du Carbonifère dans cette région était connue sans que les explorations, qui auront lieu par la suite, amènent d'autres précisions. En 1861, H. DUVEYRIER rapporta des matériaux provenant de la région de Serdelès qui furent déterminés par E. DE VERNEUIL. Elles menèrent à placer ces terrains dans le Dévonien moyen.

En 1931, les auteurs italiens entreprirent l'étude de cette région. En 1934, P. PAGANI confirma [102] les déterminations de E. DE VERNEUIL et décrit quelques nouvelles variétés. En 1936, A. DESIO estime [45] que la série de l'ouadi Oubarracat, qui est située à l'E. de Serdelès, correspond à une zone intermédiaire entre les grès dévoniens de Serdelès et les couches à *Lepidodendron* de la dite série. P. BORCHI publia [16] ensuite l'étude des fossiles récoltés en 1935 par A. DESIO : après un examen détaillé il conclut à la présence d'une espèce typiquement carbonifère (*Syringothyris cuspidatus* MART.) parmi les espèces typiquement dévoniennes.



Récemment en 1945, N. MENCHIKOFF détermina des espèces récoltées au même endroit que ses prédécesseurs, près de Serdelès, les attribua [96, 97] au Dinantien et réduisit à ce seul étage tous les affleurements situés entre le Silurien de l'Akakous et le Nubien du Messak.

Enfin, en 1949, A. DESIO et A. CHIARUGI [51] dans une note « Sur la flore à Lépidodendrales du Fezzan », attribuent les couches de l'ouadi Oubarracat à la base du Carbonifère après une étude sur des empreintes qui, de leur propre avis, sont très médiocres.

*La série stratigraphique.* — Elle présente la même disposition lithologique, avec alternances de bancs de grès ocre et jaunes, souvent rouges et d'argiles grises et vert-pâle, que celle que nous avons rencontrée dans le Dévonien et qui, globalement, se retrouve durant tout le Tournaisien.

Elle débute immédiatement à l'O. de Serdelès suivant une ligne méridienne et apparaît dans une coupe qui s'étend sur plus de 15 km. jusqu'à 10 km. à l'E. de l'ouadi Oubarracat. La structure subhorizontale et la topographie relativement peu accidentée, font que la route recoupe les mêmes horizons à différentes reprises avant de passer à un niveau supérieur.

Elle peut être décomposée en deux, et probablement trois, phases successives (fig. 8).

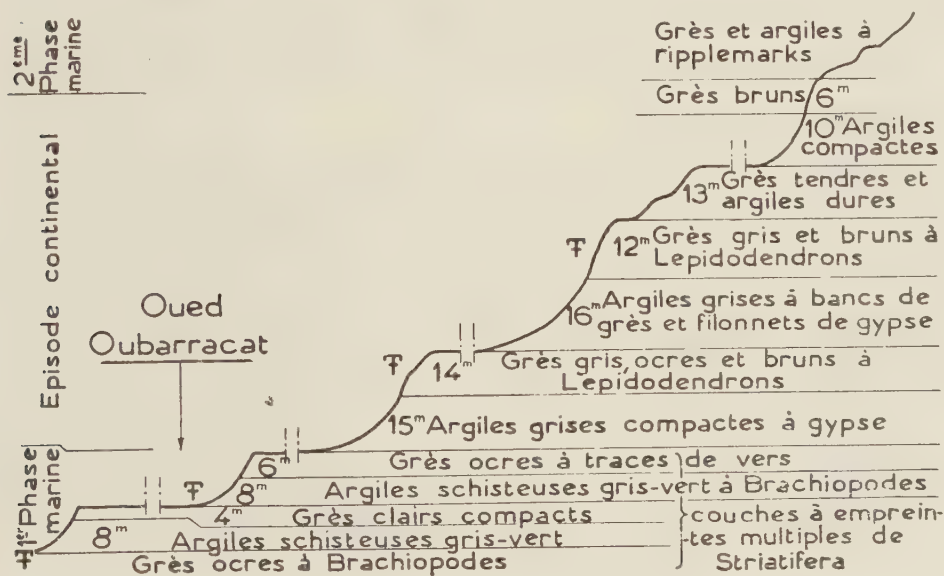


FIG. 8. — COUPE DE LA SÉRIE TOURNAISIENNE DANS LE FEZZAN OCCIDENTAL

## a) Première phase marine :

Les couches s'étendant de Serdelès jusqu'à l'oued Oubarracat et constituant la falaise qui, aux abords de la route, le borde à l'E., lui appartiennent. Les grès sont clairs, ocre, relativement compacts, durs; on y relève des traces de Vers, notamment dans les couches du sommet. Les argiles sont schisteuses gris-vert et localement violacées en des zones de contours très nets. Ces couches nous ont livré :

- 1° Gisement à 8 km. au S. de Serdelès, sur le flanc d'une butte, à la limite d'un banc de grès assez ferrugineux et d'une couche d'argile micacée gris-vert :

*Atrypa spinosa* HALL

*Striatifera undata* DEFRANCE

*Spirifer Julii* DEHÉE ou *Syringothyris cuspidatus* MARTIN

- 2° Gisement à 800 m. du précédent vers l'E., dans une situation identique :

Empreintes très abondantes de *Striatifera undata* DEFR.

Fragment d'une *Trigéria*

- 3° Gisement à 800 m. à l'O. de l'oued Oubarracat et gisement dans la petite falaise qui constitue la rive droite de cet oued, dans les deux cas à 150 m. de la route :

Empreintes multiples de *Striatifera undata* DEFR.

*Orthis umbraculum* DE BUCH.

L'épaisseur de ces couches est de l'ordre d'une soixantaine de mètres.

## b) Episode continental :

En concordance, et sous forme d'alternances comparables aux précédentes, viennent des couches qui nous ont livré en maints endroits des débris de plantes. D'une façon générale, elles sont ferrugineuses. Les grès sont bruns, souvent grossiers, de compacité très variable, recouverts aux affleurements par une croûte scoriacée noire, très dure. Les argiles sont gris-vert très compactes ou feuilletées suivant les bancs. Ceux-ci comportent de nombreuses petites intercalations de gypse de 1 ou 2 cm. d'épaisseur.

Les débris de plantes, très nombreux, sont dans la plupart des cas, épigénisés en limonite. Ils se rencontrent le plus souvent dans les éboulis provenant de bancs de grès du sommet des *cuestas*. Il s'agit de :

*Lepidodendron Veltheimi* STERN., *Protolpidodendron*.

Epiderme en limonite du précédent.

*Knorria* (moulage interne de la moëlle d'une Lycopodiale).

L'épaisseur de cette série est d'environ 90 m.

## c) Deuxième phase marine :

Les seuls indices qu'on en ait, sont constitués par la présence de rip-plemarks, en dalles très continues, observés dans de petites alternances de grès ocreux en plaquettes et d'argiles gris-vert qui poursuivent la série précédente et apparaissent à environ 8 km. à l'E. de l'oued précédent. Ces formations, qui sont l'indice d'un faciès de bordure, appartiennent peut-être déjà à la période marine viséenne.

Vers la sebkha Amsralad, nous avons pu constater que le Tournaisien était discordant sur le Gothlandien argileux<sup>1</sup>. La lacune des couches gréseuses gothlandiennes et dévoniennes pourra avoir certaines conséquences sur l'hydrogéologie.

*Pendages. Epaisseurs.* — Les couches sont, presque partout, horizontales. Les pendages sont toujours très faibles, tant vers l'E. que vers l'O. trahissant parfois l'existence de quelques ondulations dont la résultante doit donner une pente insensible vers l'E. Si bien qu'il semble que ce soit également l'accroissement faible de l'altitude dans cette direction qui nous fait accéder aux couches supérieures de la série dinantienne.

Vers le N., à environ 60 km. de la route avons-nous dit, les couches sont subhorizontales : on peut remarquer plusieurs dalles émergeant des sables, présentant un très faible pendage de 2° vers le secteur S.E.

L'épaisseur totale de cette série, difficilement observable dans son ensemble, est de l'ordre de 120 à 130 m.

## ETUDE PALÉONTOLOGIQUE.

Nous avons vu que les auteurs italiens qui ont décrit une trentaine d'espèces, attribuaient à un Dévonien supérieur marin, la base de la série qui vient d'être décrite. N. MENCHIKOFF, qui a cité six espèces, l'attribue au Dinantien.

Nos fossiles apportent peu d'éléments (Tableau 7) : la présence d'*Atrypa spinosa* HALL observée par R. DEHÉE dans la faune d'Étrœungt et récoltée à la base de la série marine, peut rapporter cette base à une période pré-tournaisienne de passage entre le Dévonien et le Dinantien : notons à ce propos, d'une part que R. DEHÉE signale dans la faune de cette zone intermédiaire, *Spirifer Verneuilli* MURCH. cité par les auteurs italiens, et

---

1. — Une note, à ce sujet, a été présentée à l'Académie des Sciences, à la séance du 12 mai 1952 (C. R. Ac. Sc., Paris, t. 234, pp. 1990-1991).

*Schellurienella crenistria* PHILL. citée par N. MENCHIKOFF, et d'autre part que nous avons déjà trouvé *Sriatifera undata* DEFR. à Aouinet-Ouennin dans une faune du Dévonien supérieur, peut-être du Strunien.

TABLEAU 7  
Répartition stratigraphique des espèces de la région de Serdelès

| PROVENANCES                       | ESPECES RECOLTEES                                                     | DÉVONIEN<br>sup. | STRUNIEN | DINANTIEN |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------|----------|-----------|
| Serdelès                          | <i>Atrypa spinosa</i> HALL.....                                       | +                | +        |           |
| Serdelès<br>(auteurs<br>italiens) | <i>Sriatifera undata</i> DEF.....                                     |                  |          | +         |
|                                   | <i>Spirifer Verneuilli</i> MURCH....                                  | +                | +        |           |
| Serdelès<br>(N. MEN-<br>CHIKOFF)  | <i>Schellurienella crenistria</i> PHILL..                             |                  | +        | +         |
| Serdelès<br>(N. MEN-<br>CHIKOFF)  | <i>Syringothyris cuspidatus</i> MART.                                 |                  |          | +         |
| Oued<br>Oubarracat                | <i>Lepidodendron Veltheimi</i><br>STERN, <i>Protolepidodendron</i> .. | +                | +        | +         |
|                                   |                                                                       |                  |          | Culm      |

Il est donc possible de penser que la transgression marine qui verra son apogée durant le Viséen, débuta immédiatement avant le Tournaisien et se trouva momentanément interrompue par une phase continentale franchement tournaisienne.

#### b) FEZZAN SEPTENTRIONAL

Le Tournaisien affleure dans le Chati, globalement suivant une direction E.N.E., du S. de Ouenzèrik jusqu'au delà de Guira (Pl. III).

#### ITINÉRAIRES.

La série a été explorée (fig. 5, p. 32) aux environs de toutes les localités du Chati, aux abords de la route, suivant des itinéraires qui ont conduit vers les Gargafs, vers le Zellaf à partir de Ouenzèrik et de Berguen, et aux alentours de la piste qui mène de Brak à Fort-Leclerc par le Zellaf.

Nous avons pu survoler les régions de Brak et de Agar.

Plusieurs gisements de fossiles ont pu être prospectés.



## ETUDE STRATIGRAPHIQUE.

*Historique.* — Les premières déterminations détaillées de fossiles provenant de gisements du Chati ont été faites par P. BORCHI sur des matériaux récoltés en 1935 par A. DESIO. Elles conclurent à la présence du Dévonien dans cette région.

En 1945, N. MENCHIKOFF établit [97] au Chati, l'existence du Tournaisien caractérisé par la présence de *Syringothyris cuspidatus* MARTIN et *Spirifer tornacensis* DE KONINCK récoltés près de Brak.

En 1946, M. LELUBRE publia une coupe de la série paléozoïque située au dessus des schistes à *Monograptus* qui affleurent à bir el Gasr.

En 1949, A. DESIO publia quelques séries du Chati comportant des niveaux à Lépidodendrales récoltés en 1935. Ceux-ci, constitués par des empreintes très passables, ont été étudiés par A. CHIARUGI [51] qui les attribua à des « niveaux suffisamment élevés du Carbonifère ».

*La série stratigraphique.* — Nous avons essayé d'établir une série détaillée et précise du Tournaisien. L'idée dut en être abandonnée en constatant que certains niveaux étaient lenticulaires et que pour obtenir un résultat indiscutable, il fallait opérer des levés à une échelle plus grande que celle à laquelle nous avons pu travailler.

La série observée débute par des alternances d'argiles et de grès qui ont livré, à T'missan, des empreintes de caractère marin sans qu'il soit possible de savoir s'il s'agissait déjà du Tournaisien : le passage des couches continentales dévoniennes aux couches marines n'a été remarqué en aucun point des multiples parcours.

Au dessus des dépôts marins, la série comporte plusieurs passées ferrugineuses observables en divers points du Chati. La plus importante se trouve vers Guira où existe un gîte de plusieurs millions de tonnes d'oxydes et d'hydroxydes de fer à forte teneur, comparable à celle des minerais riches d'Afrique du Nord. Le minerai se présente en oolites ferrugineuses (vers Guira) et en masses compactes (vers Maharouga-Agar et bir Gualmara) : nous en donnons plus loin une étude générale (III<sup>e</sup> partie, p. 311). Le caractère largement lenticulaire de cette partie de la série est d'ailleurs souligné par les coupes des forages réalisés qui sont quelquefois comparables d'un forage à l'autre, et peuvent présenter dans d'autres cas, des différences très nettes même lorsque les sondages sont réalisés en des points relativement voisins (nos I.R.H. 546, 543, 539, 541, 526, 542 et 540) (fig. 11 et p. 146).

Il semble que nous pouvons voir dans la série du Chati, une phase continentale unique située entre deux phases marines; en effet, il est probable

que les couches à *Lepidodendron*, citées par A. DESIO et se trouvant entre Berguen et Douissa et vers Maharouga, correspondant à celles qui ont été étudiées vers Guira et Brak.

D'une façon générale, on peut penser que le passage des grès dévoniens des Gargafs au Tournaisien du Chati, peut se décomposer de la façon suivante (Tableau 8) :

TABLEAU 8  
La série paléozoïque du Chati

|                                                                  |                                                                                   |                              |             |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------|
| Chati oriental (Est de Brak) . .                                 | Alternances de grès et argiles à Brachiopodes.<br>30 m. env.                      | 2 <sup>me</sup> phase marine | TOURNAISIEN |
| Chati central et oriental, entre Douissa et Brak (Guira) . . . . | Lentilles de grès, argiles et hydroxydes de fer à plantes fossiles.<br>40 m. env. | Episodé continental          |             |
| Chati occidental, entre Ouenzerik et Douissa . . . . .           | Alternances de grès et argiles à Brachiopodes.<br>30 m. env.                      | 1 <sup>re</sup> phase marine |             |
| Région de T'missan . . . . .                                     | Alternances de grès et argiles à empreintes d'organismes marins.                  | marin ?                      | DEVONNIEN   |
| Gargafs (sondages d'Hatya et Ouenzerik) . . . . .                | Alternances de grès ocre et blancs et d'argiles.                                  | continental                  |             |

a) GRES DEVONIENS CONTINENTAUX des Gargafs (sondages de el Hatya et en partie de Ouenzerik). Ceux-ci ont été recouverts par une mer épicon-tinentale responsable des indices (empreintes, ripplemarks) de T'missan, et qui est le prélude de la transgression dinantienne.

b) PREMIERE PHASE MARINE dont la base n'a pu être observée.

Les couches correspondantes affleurent dans le Chati occidental, notamment vers Ouenzerik au S. et au S.O., vers Berguen et jusqu'entre Tarout et Douissa. Elles sont constituées par environ 30 m. d'alternances tantôt très fines, tantôt en bancs très nets de grès blancs ou ocre souvent à ripplemarks, et d'argiles schisteuses grises ou vert-gris. Dans l'ensemble, en profondeur, les couches recoupées par les forages de Gotta et de Maharouga correspondant à cette phase, sont tendres et de compacité variables.

Deux niveaux différents, séparés par une quinzaine de mètres d'épaisseur, ont livré à 18 km. environ au S. de Ouenzèrik sur la rive droite d'un large oued qui se dirige vers le Zellaf, des moules internes de Brachiopodes essentiellement. L'un des gisements est une véritable lumachelle quartzifiée comme le sont la plupart des bancs gréseux affleurant en dalles horizontales.

Nous y avons recollé, dans le gisement situé au S. :

*Dentalium ornatum* DE KONINCK.

*Euomphalus Dionysii* MONTFORD.

*Cardinia utrata* GOLDFUSS.

*Rhynchonella carringtoniana* DAVIDSON.

*Athyris serpentina* DE KONINCK.

*Athyris Roissyi* LEVEILLÉ.

Fragment de *Pecten* ou d'*Aviculopecten*.

Moulage d'*Orthis*.

et dans le gisement situé au S.E. :

*Euomphalus Dionysii* MONTFORD.

*Cardiomorpha oblonga* SOWERBY.

*Avicula dumontiana* DE KONINCK.

*Rhynchonella carringtoniana* DAVIDSON.

Moulage d'*Isocardia*.

*Cardiomorpha elongata* DE KON. ou *Isocardia*.

*Cypricardina striatolamellosa* DE KON. ou *Arca faba* DE KON.

c) EPISODE CONTINENTAL qui englobe toutes les passées ferrugineuses qu'on rencontre entre Douissa, le Zellaf, Guira et bir Gualmara. La série est composée de couches largement lenticulaires de grès ferrugineux grossiers, souvent à stratification entrecroisée, et d'argiles vertes, grises, lie-de-vin, jaunes et blanches, le plus souvent compactes, quelquefois schisteuses et à gypse qui affleurent notamment en bordure du Zellaf entre Ech-Kidha et ech-Cheb où se trouvent des dépôts de gypse et de sulfates.

Il semble que les affleurements de base se situent dans les buttes qui apparaissent à l'intérieur du Zellaf dans les premières dunes qui constituent sa bordure au S. de Ouenzèrik. Les couches ferrugineuses observées dans cette région présentent des traces d'oolites. Le sommet de cette série semble être marqué par la formation oolitique observée vers Guira et Brak. La base et le sommet de cet épisode comporteraient donc des dépôts oolitiques ou à tendance oolitique plus ou moins nette.

Notons que les forages y ont rencontré (forage de Brak notamment, n° 542) des passées quartziteuses extrêmement résistantes qu'ils n'ont pas rencontrées dans la traversée des couches marines.

Les coupes des forages à injections exécutés<sup>1</sup> ne relatent pas toujours la traversée de ces couches. Les sondages, ayant pour seul objet la recherche de l'eau, n'ont pas comporté de carottage. Les coupes n'ont été établies que de façon approximative en tenant compte, en particulier, de la vitesse d'avancement de l'outil. Les boues d'injection, rendues volontairement épaisses pour contenir les nappes fortement artésiennes, n'ont pas permis l'observation correcte des cuttings.

La puissance de cet épisode est de l'ordre de 40 m.

Nous avons récolté une petite flore du Culm en parfait état dans les niveaux supérieurs, à l'O. et au N. de Guira :

*Lepidodendron Velltheimi* STERNBERG.

Cône fructifère, ou rameau avec feuilles, du précédent.

*Archeosigillaria vanuxemi* KIDSTON.

*Khnorria*.

Les *Archeosigillaria* proviennent d'argiles schisteuses gris-vert et lie-de-vin, fissurées. Elles affleurent dans la falaise qui constitue la rive droite de l'oued qui passe à l'O. de la localité citée. Les *Lepidodendron* ont été ramassés dans des éboulis, à la surface des couches de grès très ferrugineux et sur la couche d'oolites ferrugineuses. Nous avons récolté, entre autres, un rameau de 25 cm. de long, entièrement épigénisé en oolites ferrugineuses. A. DESIO a, en outre, récolté des *Lépidodendrales* entre Douissa et Berguen, près de Maharouga et vers l'oued Beddada au N. de Guira.

d) DEUXIEME PHASE MARINE dont les couches affleurent à l'E. et au S.O. de Brak. Dans cette direction, grâce à une légère voussure anticlinale qui se trouve entre Brak et la limite septentrionale du Zellaf, apparaissent des couches de grès à ripplemarks.

Il semble, à moins que la faiblesse des pendages et les jeux du relief soient trompeurs, que ces couches marines sont très légèrement discordantes sur les dépôts continentaux : cette discordance apparaît le plus net-

1. — Je dois à ce propos témoigner ma gratitude à MM. E. LENAIN et J. MULLER de la Société de Sondages, Injections, Forages (S.I.F.) qui a réalisé tous les sondages du Fezzan. Leur amabilité coutumière me permit de recueillir, malgré l'éloignement, de très utiles renseignements de leurs campagnes successives de forages. Je ne saurais oublier de mentionner le concours très sensible que m'apporta M. CORNELLI, chef de la mission forage de cette Société, auquel je dois maints détails et grâce auquel j'ai pu étudier, en laboratoire à Tunis, de nombreux échantillons rendus précieux par leur rareté.



tement lorsqu'on vient vers Brak, en amont de la digitation qui s'avance à l'E. de cette localité.

La série est constituée par des alternances de grès lités fins et grossiers, blancs ou ocres, souvent recouverts en surface par une couche ferrugineuse, sombre, dure, scoriacée, parfois à ripplemarks, et d'argiles grises et vertes. Elle a une épaisseur visible d'environ 30 m. Nous n'avons pu en observer le toit car elle est recouverte vers le S. et vers l'E. par des formations plus récentes. Les empreintes suivantes ont été récoltées :

*Syringothyris cuspidatus* MARTIN.

Moulage d'*Orthis*.

N. MENCHIKOFF a récolté dans cette région :

*Spirifer tornacensis* DE KONINCK.

D'une façon générale, l'élément calcaire est absent de toutes les couches de la série du Chati qui ont été décalcifiées (disparition, entre autres, des tests fossiles). Les nombreuses fissures qui affectent tous ces dépôts sont, toutes, plus ou moins colmatées.

Toutes les formations précédentes sont recouvertes à des niveaux variables et en discordance, par des couches de calcaires gréseux et de marnes gréseuses du Paléogène supérieur (Pl. XIX, fig. 1, 2, 3; Pl. XX, fig. 5).

*Pendages Epaisseurs.* — Les pendages sont toujours faibles, de l'ordre de 2° à 3°. Dans le Chati central et oriental, ils semblent dirigés vers le S. avec une très légère tendance vers l'E.S.E. A l'E. de ech-Khida, ils sont orientés vers le S. Dans le Chati occidental les couches sont pratiquement horizontales.

Entre Brak et le Zellaf, on peut discerner la présence d'une voûture anticlinale dont l'axe, orienté parallèlement à celui des strates, c'est-à-dire globalement E.O., se trouve sensiblement à mi-chemin entre cette localité et la courte montée par laquelle on accède au Zellaf sableux. Il est marqué par la réapparition, avec pendages vers le N. puis vers le S., de plaques de grès ocres à ripplemarks.

L'épaisseur totale de la série du Chati est de l'ordre de 110 m.

#### ETUDE PALÉONTOLOGIQUE.

D'une façon générale, la série du Chati reposant sur les couches à empreintes de T'missan, est tournaissienne (Tableau 9), quelques fossiles caractéristiques permettant de subdiviser le Dinantien.

Le Viséen n'est pas visible dans le Chati.

TABLEAU 9

## Répartition stratigraphique des espèces récoltées dans le Chati

| NIVEAUX                            | ESPECES RECOLTEES                          | FAMENNIE | DINANTIEN   |        |
|------------------------------------|--------------------------------------------|----------|-------------|--------|
|                                    |                                            |          | TOURNAISIEN | VISÉEN |
| 1 <sup>re</sup><br>phase<br>marine | <i>Athyris Roissyi</i> LÉV.....            | +        | +           |        |
|                                    | <i>Rhynchonella carringtoniana</i> DAV...  |          | +           | +      |
|                                    | <i>Euomphalus Dionysii</i> MONTF.....      |          | +           | +      |
|                                    | <i>Cardinia utrata</i> GOLDF.....          |          | +           | +      |
|                                    | <i>Athyris serpentina</i> DE KON.....      |          | +           | +      |
|                                    | <i>Dentalium ornatum</i> DE KON.....       |          | +           | +      |
|                                    | <i>Euomphalus Dionysii</i> MONTF.....      |          | +           | +      |
|                                    | <i>Rhynchonella carringtoniana</i> DAV..   |          | +           | +      |
|                                    | <i>Cardiomorpha oblonga</i> SOW.....       |          |             | +      |
|                                    | <i>Avicula dumontiana</i> DE KON.....      |          |             |        |
| Episode<br>conti-<br>nental        | <i>Archeosigillaria Vanuxemi</i> KIDST.... |          | ++          | +      |
|                                    | <i>Lepidodendron Veltheimi</i> STERN....   |          | +           | +      |
| 2 <sup>e</sup><br>phase<br>marine  | <i>Syringothyris cuspidatus</i> MARTIN.... |          | +           |        |
|                                    | <i>Spirifer tornacensis</i> DE KON.....    |          | +           |        |

c) *EN RESUME*, le Tournaisien affleure à l'O. et au N. du Fezzan où il débute par une phase marine: il ne nous apparaît cependant nettement transgressif en aucun endroit. Vers le Chati il est précédé d'une phase marine épicontinentale à empreintes genre *Spirophyton*. Tant vers l'O. que vers le N., il comporte un important intermède continental riche en passées ferrugineuses, notamment au Chati. Cette période d'émersion est suivie d'une seconde phase marine.

Les faciès marins du Tournaisien sont partout néritiques: les couches sont faites d'alternances de grès et d'argiles qui dénotent des oscillations du socle et dont l'élément calcaire est totalement absent.

Le sommet du Tournaisien n'a pu être observé en aucun point.

## 6. — Le Viséen

Il affleure dans le Fezzan occidental et oriental, et au N. du grand erg d'Oubari.

### a) FEZZAN OCCIDENTAL

Il affleure globalement suivant une zone méridienne située à l'E. de la précédente.

#### 1. — DANS LA REGION DE SERDELES

##### ITINÉRAIRES.

La série a pu être explorée aux abords de la route et dans une coupe parcourue à une dizaine de kilomètres au N. de la route (fig. 2, p. 25).

##### ETUDE STRATIGRAPHIQUE.

*Historique.* — A. DESIO a pu étudier en 1935 la série qui affleure aux abords de la route qui va d'Oubari à Serdelès, entre les kilomètres 175 à 190 et aux kilomètres 210 à 215. C. ROSSI en a publié [111] une étude très complète et détaillée en 1929. Il cite et décrit une vingtaine d'espèces.

*La série stratigraphique.* — Celle-ci, à l'encontre de toutes celles qui ont été rencontrées jusqu'à présent, comporte de nombreux bancs calcaires blancs ou roses.

Elle n'a pu être étudiée en détail; nous reproduisons donc la coupe de A. DESIO publiée par C. ROSSI :

A la base :

- a) Alternances d'argiles et de grès argileux verdâtre.
- b) Argiles verdâtres avec lumachelle à *Spirifer* et gros articles de Crinoïdes.
- c) Calcaires blancs oolitiques.
- d) Calcaires gris et bruns à Brachiopodes (*Prodyctus*) et quelques articles de Crinoïdes.
- e) Grès quartziteux bruns.
- f) Marnes vertes et rosées, gypseuses, à nombreux lits ferrugineux, contenant de petits gastéropodes.
- g) Calcaires compacts, gris-jaunâtre avec quelques articles de Crinoïdes et avec coraux.

## DISCORDANCE

- h) Grès quartziteux gris avec quelques bois fossiles.
- i) Calcaires gréseux gris et blancs bariolés avec baryte et gypse.

## DISCORDANCE

- j) Grès quartziteux rouge-sang et jaune avec traces de figures réticulées.

Les couches sont subhorizontales; en général les pendages sont très faibles vers l'E.S.E.

## 2. — VERS LE ZEGHER AU N.

Dans les couches affleurant à Timenocaline, A. CORNET a trouvé [29] quelques Brachiopodes. D'après N. MENCHIKOFF ceux-ci sont dinantiens et probablement viséens. Les couches sont subhorizontales et constituées par des calcaires qui reposent sur un poudingue à Brachiopodes roulés, reposant lui-même sur des calcaires à entroques. Nous avons recoupé ces formations nettement plus vers l'O., vers la frontière occidentale du Fezzan, décelant de la sorte un déplacement sensible de la limite du Viséen vers l'O. et la disparition ou l'affaiblissement, presque total en cette région, de la structure anticlinale marquée par l'affleurement gothlandien de bir el Gasr.

## 3. — VERS LE COL D'ANAI AU S.

Sensiblement vers le 24° parallèle, au N. du col d'Anai, à 50 km. au pied de la falaise du Messak, R. CAPOT-REY a remarqué [27] des calcaires à entroques dont les couches supérieures sont sablonneuses.

Au col d'Anai, et plus au S., le même auteur signale un décalage général vers l'E. des formations dinantiennes : les couches de grès et de « calcaires pétris de *Productus* » arrivent à 5 km., puis au pied de la falaise du Messak. Il attribue un tel décalage à l'affaiblissement des pendages qui sont de 3° à 5° vers l'E.

Entre ces dépôts et la série nubienne, se trouvent, en concordance, des couches de grès en plaquettes, sans fossiles, qui font transition.

## b) FEZZAN SUD-ORIENTAL

Le Viséen apparaît sur la bordure sud-orientale du djebel ben Guenema. Plus au S., certains affleurements sont attribués au Dinantien.



## 1. — LE DJEBEL BEN GUENÉMA

## HISTORIQUE.

Les fossiles récoltés dans cette région en 1935 par C. CHIESA, ont été étudiés par C. ROSSI qui attribua les gisements au Carbonifère moyen.

En 1948, M. LELUBRE décrit [87] la série dont les faunes recueillies sont, d'après N. MENCHKOFF, du Viséen inférieur.

## LA SÉRIE STRATIGRAPHIQUE.

Celle-ci est constituée :

à la base par des Calcaires ferrugineux à *Bellerophon*.

Calcaires à *Productus Vaughani* WOOD.

Calcaires gris de Logri.

Alternances de grès lités à traces et ripplemarks.

Elle se poursuit tout le long du djebel; mais vers le N., la présence de dépôts détritiques marque la limite orientale de la transgression viséenne.

Des épisodes continentaux à bois silicifiés terminent la série carbonifère. Ceux-ci représenteraient le *Continental post-tassilien* identifié par C. KILIAN [74].

*Epaisseur.* — La série viséenne est de la sorte évaluée à 200 m.

## 2. — REGIONS SUD-ORIENTALES

Les affleurements carbonifères sont signalés suivant une bande orientée sensiblement N.N.E., qui passe par Logri, le plateau d'Alabama, la partie orientale du plateau du Mangueni au sud duquel se trouve une digitation orientée vers l'O.N.O. jusque vers Achelouma, et se poursuit vers le S., vers le Sahara nigérien par la région de Mabrous et de Yat.

M. DALLONI décrit [32] les affleurements et les faunes récoltées. Il s'agit de Carbonifère qui ne « semble guère dépasser le Dinantien ». Les faciès sont surtout néritiques, grés-sableux, quelquefois calcaires. Localement, cet auteur indique la présence de lumachelles (zone de plages voisine de Mabrous), de bancs de poudingues à petits galets et d'assises ferrugineuses (plateau d'Alabama).

Dans la région de Lebo, il existe des grès à stratification entrecroisée et végétaux silicifiés que M. LELUBRE classe dans le Carbonifère continental car on y trouve des intercalations de bancs de calcaires toujours absents dans les grès de Nubie (*sensu stricto*).

c) *FEZZAN SEPTENTRIONAL*

Au Sud de la hamada el Homra, M. LELUBRE a visité [82] des affleurements dinantiens à 25 km. environ au S.E. du puits de Dembaba. Ce point se trouve à 70 km. à l'O. d'Aouinet-Ouennin. Il s'agit de calcaires lités à *Productus cora* probablement viséens, dont les couches sont inclinées vers le N.N.O.

A 10 km. à l'O. de Dembaba, le même auteur signale des calcaires riches en *Bellerophon* et gastéropodes qui sont recouverts par la série continentale albienne qui s'étend très à l'O., sous les formations du Crétacé supérieur de la hamada el Homra.

d) *EN RESUME*, la transgression dinantienne, annoncée dès le sommet du Dévonien supérieur, voit probablement son apogée lors du Viséen inférieur. Elle a couvert alors tout le Fezzan : elle n'est cependant pas observable au Chati où les dépôts plus récents peuvent masquer les affleurements viséens. Le djebel ben Guenamma semble en marquer la limite orientale. La régression est marquée par des épisodes continentaux comportant des alternances qui se présentent avec un faciès comparable à celles qui ont été rencontrées antérieurement. Certains auteurs, à la suite de C. KILIAN [74], les individualisent en *Continental post-tassilien*.

## 7. — Le Nubien

Le Nubien correspond à une série continentale compréhensive dont le sommet est d'âge crétacé et dont la base a fait l'objet de nombreuses controverses.

Il est communément admis que son sommet date de la transgression cénomaniennne. Cependant les dépôts marins cénomaniens, présents dans le Fezzan méridional et septentrional, n'ont jamais été observés reposant sur le Nubien, sauf au S. du Fezzan, vers Achelouma.

Nous venons de voir que des couches d'un *Continental post-tassilien* pouvaient recouvrir les assises marines dinantiennes. Selon que le Nubien englobe ou n'englobe pas ces dépôts continentaux, d'un faciès assez différent de celui du Nubien typique, on parvient à un Nubien *sensu-lato* ou à un Nubien *sensu-stricto*.

Cette formation considérable recouvre donc une période qui est mal limitée vers la base. Compréhensive, elle peut comprendre une série allant du Carbonifère moyen au Crétacé moyen. Certains arguments paléontologiques amènent à la considérer comme essentiellement wealdienne.

Elle peut être rapprochée des deux grandes autres formations détritiques continentales d'Afrique : le Karoo au Sud, permo-triasique, et surtout le *Continental intercalaire* des régions sahariennes et tropicales avec lequel une identification doit souvent être possible à l'âge de la base près.

Le Nubien existe dans la partie nord-orientale de l'Afrique. Son faciès à prédominance gréseuse, a souvent conduit à donner à cette formation le nom de *Grès de Nubie* ou encore de *Grès à dragées* qui, à défaut d'en préciser l'étendue stratigraphique, en définit le caractère lithologique dominant.

Ses dépôts sont, au Fezzan, le produit de l'accumulation des matériaux provenant de l'érosion, de la désagrégation des chaînes primaires situées à l'O. (Tassili et recouvrement de l'Ahaggar), au S.S.E. (recouvrement du Tibesti) et au N. (Gargafs).

Le caractère lenticulaire, comme nous allons le préciser, de la série que nous avons étudiée en la plupart de ses affleurements sauf vers le Messak méridional et vers la partie extérieure du djebel ben Guenemma, ne permet pas une étude détaillée qui n'aurait pas de sens ici. Lors des études régionales, les coupes observées, qui peuvent avoir des influences locales sur l'hydrogéologie, seront précisées.

#### LA SÉRIE STRATIGRAPHIQUE.

D'une façon générale, la série peut être subdivisée en plusieurs ensembles argileux ou gréseux que les passages latéraux de faciès, nombreux dans ces formations lenticulaires continentales, respectent plus ou moins. Ainsi dans le Fezzan occidental, dans le Messak Settafet, on peut, en accord avec les observations de R. CAPOT-REY [27] et de C. KILIAN et M. LELUBRE [84], relever les grandes divisions suivantes :

A la base :

- a) Grès tendres et sableux, parfois ferrugineux.
- b) Marnes schisteuses blanches et violacées avec passées gréseuses
- c) Grès fins à passages grossiers, conglomératiques et stratifications entrecroisées.
- d) Marnes schisteuses, blanches, lie-de-vin et jaunes.
- e) Grès fins blancs, sombres et quartziteux au sommet.

Nous avons remarqué que le sommet de l'escarpement interminable qui borde la limite extérieure des affleurements, est partout jalonné par une barre de quartzites extrêmement résistante. Nous avons déjà signalé maintes fois l'existence de telles roches lorsque les grès viennent à l'affleurement. Le fait à souligner est que ces quartzites ne proviennent pas d'un même banc de grès régulier et continu silicifié : ils proviennent de la trans-

formation des diverses couches, lithologiquement différentes souvent, qui, tour à tour, par les jeux de l'érosion, viennent à se trouver à la partie supérieure de la falaise.

La présence de quartzites semble donc due à une modification de ces formations au fur et à mesure de leur venue à l'affleurement : modification très lente, fonction de la vitesse de l'érosion rendue plus difficile par ce revêtement résistant et qui ne touchent que des dalles horizontales. La nature semble s'armer elle-même contre ses propres agents de dégradation. Nous reviendrons sur cette question dans l'étude pétrographique (p. 103).

Dans l'ensemble, C. KILIAN et M. LELUBRE ont dénombré 4 horizons à bois silicifiés :

Le 1<sup>er</sup> se trouve dans les bancs *b*, le 2<sup>e</sup> dans les bancs *c*, le 3<sup>e</sup> entre les bancs *d* et *e*, le 4<sup>e</sup> dans les bancs *e*.

P. CORSIN a déterminé une Fougère caractéristique du Wealdien. provenant du Messak, sensiblement du milieu de la série. Au S. du Fezzan, vers les « monts de Toummo », M. DALLONI signale [32] quelques plantes caractéristiques, en général, du Crétacé inférieur et, plus au S. encore, des végétaux et os fossiles de reptiles, probablement du Crétacé inférieur également.

Toute cette série est essentiellement gréseuse; l'élément calcaire en est absent. Elle correspond à des dépôts massifs de piedmont.

#### PENDAGES. ÉPAISSEUR.

Ses affleurements extérieurs sont limités dans les parties occidentale (Messak), sud-orientale (djebel ben Guenemma) et septentrionale (ouadi el Ajal et Bouanis) par une haute falaise dont l'altitude varie entre quelques dizaines de mètres et 200 m. vers l'O.; cette falaise se dessine partout comme une immense *cuesta*. Partout, dans les régions mentionnées, les pendages toujours très faibles, sont dirigés perpendiculairement à l'orientation de ces *cuestas*.

Deux régions échappent à cette caractéristique : il s'agit du Fezzan nord-oriental (entre Khneir et T'messa, dans le sérir el Gattousa oriental) et des régions situées dans le Fezzan méridional et plus au S. (plateau du Mangueni); les couches y demeurent subhorizontales et les affleurements s'étendent vers l'E. et vers le S.

En général, les couches nubienues, pratiquement horizontales vers le centre de la zone circonscrite par les affleurements que nous venons de décrire, sont affectées par des pendages qui atteignent 3° à 5° sur les bordures, dans les *cuestas* (Pl. XVIII, fig. 5). Ce fait peut être l'indice d'une très



légère subsidence : les variations sont d'ailleurs visibles dans l'ouadi el Ajal où la falaise est découpée en de profondes alvéoles : les pendages sont plus faibles au fond de celles-ci que dans les avancées vers l'erg d'Oubari.

L'épaisseur du Nubien est très diversement appréciée. Dans ses affleurements occidentaux C. KILIAN et M. LELUBRE lui prêtent environ 500 m. et R. CAPOT-REY environ 600 m. P. BELLAIR attribue [6] de 700 à 800 m. de puissance à la série nubienne. S. SANDFORD qui s'est penché sur les *Grès à dragées* d'Egypte et du Soudan anglo-égyptien, leur attribue [112] une puissance voisine de 400 m.

Nous pensons pour notre part que, dans ces dépôts subhorizontaux, affleurant sur des distances très grandes, des erreurs très grossières peuvent finalement se glisser et surprendre l'observateur le plus méticuleux. C'est dans cet esprit que nous avançons le chiffre de 1.000 m. : songeons en effet que dans la zone septentrionale, en bordure extérieure des affleurements visibles du Nubien, dans l'ouadi el Ajal, le sondage de Ghreifa (n° I.R.H. 523, p. 194) a traversé 475 m. de terrains sans que l'on soit sûr d'avoir pénétré dans la série infra-nubienne.

EN RESUME, le Nubien proprement dit, est une série compréhensive, continentale à stratification lenticulaire, surtout gréseuse. Il est limité au sommet par la transgression cénomaniennne. Au Fezzan, les seuls documents paléontologiques qu'on y trouve, sont crétacés inférieurs. Cette formation peut être comprise comme un Wealdien dont les affleurements, très vastes, s'étendent hors du Fezzan vers le S. (Mangueni-Djado) et sont recouverts par des dépôts plus récents vers l'E. (à l'Est du sérir el Gattousa); son épaisseur serait de l'ordre du millier de mètres.

## 8. — Le Crétacé supérieur

Ses affleurements sont situés en majorité dans le Fezzan septentrional. D'autres ont été identifiés au S. du Fezzan, vers Achelouma.

### a) AU S. DU FEZZAN

Dans cette direction, à plus de 100 km. au S. de la frontière du Fezzan et un peu au S. de la limite de la cuvette fezzanaise, dans la partie méridionale du Mangueni, vers Achelouma, vers Djado et plus au S. vers Bilma, des fossiles marins de la base du Crétacé supérieur ont été récoltés ou cités par différents auteurs, notamment C. KILIAN et LANGLOIS [76] et R. FURON [60]. Ceux-ci ont permis de discerner la limite de l'avancée de la transgression cénomaniennne venant du Niger par le Kaouar.

Certains auteurs, tels que CHUDEAU, R. FURON, C. KILIAN et N. MENCHKOFF [61] sont tentés d'y voir les vestiges d'un bras de mer qui, à cette époque, reliait la mer couvrant la Tripolitaine à celle du Damergou. Comme le fait remarquer M. DALLONI aucune trace provenant du Fezzan méridional ou central ne permet pareille conclusion; mais cependant « ces solitudes si vastes ont été à peine explorées au point de vue géologique et... il est impossible de se prononcer définitivement ».

#### b) FEZZAN SEPTENTRIONAL

Le Crétacé supérieur affleure d'un bout à l'autre de la hamada el Homra. celle-ci s'étend jusqu'en Tripolitaine et est limitée, vers le S., par la falaise qui, du djebel Fezzan par Aouinet-Ouennin, jusqu'au delà de Fort-Flatters, étire ses escarpements et domine le reg et les dunes du grand erg d'Oubari, appelé encore Edeyen.

Vers l'O.S.O. elle est prolongée par la hamada de Tingherth qui domine Fort-Flatters et l'erg d'Issaouan, séparé du précédent par des plateaux gréseux. Elle est limitée vers l'O., à l'occident de Ghadamès, par les ensembles sableux du Grand Erg oriental.

Vers l'E., des affleurements du Crétacé supérieur ont été signalés au-delà du méridien du djebel Fezzan.

#### ITINÉRAIRES.

Les terrains du Crétacé supérieur ont été parcourus lors des voyages qui nous ont conduit au Fezzan et, durant ceux-ci lors de plusieurs reconnaissances, de part et d'autre des pistes empruntées.

Ces voyages nous ont permis de traverser la hamada, d'abord de Ghadamès au col Méquillet, situé au N. du djebel Fezzan, par un tracé ancien, puis par un autre passant par le « signal touareg » (Pl. X et XI); ensuite de Ghadamès à Aouinet-Ouennin par la nouvelle piste jalonnée.

#### ETUDE STRATIGRAPHIQUE.

Le Crétacé supérieur est faiblement mais nettement discordant sur les terrains paléozoïques qu'il recouvre (Pl. XVIII, fig. 4).

La série n'a pu être étudiée dans la partie septentrionale de la hamada. D'ailleurs, son observation est rendue extrêmement difficile, voire impossible dans certaines régions, par le reg caillouteux qui recouvre toutes ces couches. Les différents étages qui la constituent peuvent être recoupés durant le parcours Aouinet-Ouennin-Ghadamès (Pl. XV).

*La série stratigraphique.* — Le CÉNOMANIEN affleure sur toute la bordure méridionale de la hamada, notamment à Aouinet-Ouennin où nous avons pu observer les couches sur une épaisseur d'environ 40 m. Il affleure ensuite sur la hamada où il faut lui imputer une succession de petits gradins d'épaisseurs variées qui forcent, littéralement, à gravir la série jusqu'à l'étage supérieur. Une butte, arasée à l'extrême, très large dôme peu élevé, le djebel Hamamat, où les gradins sont plus rapprochés, subsiste à l'E. de la piste. Ceux-ci correspondent aux traces ultimes de petits bancs de calcaires en plaquettes alternant avec des bancs marneux pour constituer la suite des alternances suivant laquelle se présente généralement, en Tunisie, la série cénomaniennne. La partie visible de la série a permis d'en établir une petite coupe (fig. 9).

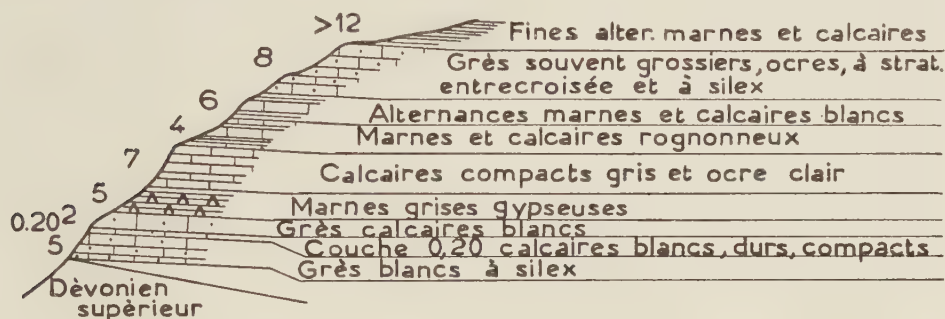


FIG. 9. — COUPE DE LA SÉRIE CÉNOMANIENNE VISIBLE A AOUINET-OUENNIN

Nous n'y avons pas trouvé de fossiles en place. Les couches de la base permettent de penser qu'il y a eu quelques périodes d'émersion dont les grès à stratification entrecroisée sont le témoin. Nous avons trouvé dans les ravins d'Aouinet-Ouennin des moules roulés de *Pholadomya* et, sur la hamada, au terrain d'aviation, un exemplaire en bon état d'*Exogyra flabellata* GOLDFUSS.

Le TURONIEN apparaît sous forme d'une épaisse barre de calcaires massifs, nette localement, mais souvent estompée par le relief: on la discerne assez nettement cependant au N.O. d'Aouinet-Ouennin dans une petite falaise de hauteur variable que longe l'oued Souamakh. Au N. d'Aouinet, elle est moins visible.

Il constitue la dalle résistante, continue et plane, qui correspond à une grande partie de la hamada. Nous avons récolté sur celle-ci, notamment sur les buttes très caillouteuses, des exemplaires roulés et indéterminables d'*Ammonites* et d'*Inocérames*. Les bancs marneux en étant absents, au moins dans sa partie moyenne, les passées de *feich-feich*, fréquentes vers le S. et vers le N. et qui doivent provenir de leur altération, y sont rares.

Le SÉNONIEN INFÉRIEUR apparaît, sans possibilité d'en individualiser le TURONIEN calcaro-marneux, à une vingtaine de kilomètres au S. de bir Ghzel.

Il est constitué par des alternances de bancs de calcaires et de marnes dont certains peuvent avoir quelque importance. Nous avons récolté à 42 kilomètres de Derj, dans des éboulis, en bordure de la route qui mène à bir Ghzel, un exemplaire roulé mais suffisamment net de *Tissotia tunisiensis* HYATT.

Le SÉNONIEN SUPÉRIEUR affleure dans la falaise qui domine Derj et se poursuit vers le N. et le S.O. Il a une composition lithologique sensiblement comparable à celle du Sénonien inférieur. Dans son ensemble, le Sénonien comporte quelques bancs calcaires assez épais pour être le siège de ressources hydrauliques. Ghadamès se trouve sur les couches du sommet du Sénonien supérieur dont la série apparaît entre cette localité et Derj.

Nous avons récolté à deux reprises, dans des éboulis, à 8 et à 32 km. à l'O. de Derj, en bordure de la route qui mène à Ghadamès, *Alectryonia unguolata* SCHLOTTHIM.

*Pendages. Epaisseurs.* — Vers Aouinet-Ouennin, les couches sont horizontales. Vers l'intérieur de la hamada, les pendages apparaissent, toujours très faiblement inclinés vers le N.O. et l'O.N.O. et ne sont appréciables qu'avec beaucoup de recul (Pl. XVIII, fig. 6).

L'épaisseur des diverses formations n'est pratiquement pas évaluable sans idée préconçue. On peut cependant observer que pour le Cénomaniens dont les couches sont horizontales, on relève une épaisseur d'une quarantaine de mètres en bordure de la hamada qui se trouve à la cote 620; à proximité du Turonien calcaire nous avons observé l'altitude 750 m. Soit pour le Cénomaniens et le Turonien marneux une épaisseur minimum de 170 m. en terrains supposés continuellement horizontaux.

Le forage exécuté à Derj (n° I.R.H. 545), a recoupé des couches très faiblement inclinés dont les épaisseurs approximatives, au-dessus de l'Albien atteint aux environs de 550 m. de profondeur, sont :

|                                                                                         |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| — Cénomaniens (marno-calcaires et anhydrite) et Turonien inférieur calcaro-marneux..... | 265 m. |
| — Turonien calcaire.....                                                                | 70 m.  |
| — Turonien supérieur et Sénonien inférieur et moyen calcaro-marneux .....               | 215 m. |

Au total, le Crétacé supérieur affleurant entre Aouinet-Ouennin (base du Cénomaniens) et Ghadamès (Sénonien supérieur) doit avoir, dans cette région, une épaisseur d'environ 700-800 m.



## ETUDE PALÉONTOLOGIQUE.

Les fossiles récoltés sont peu nombreux mais suffisamment caractéristiques pour permettre de dater les gisements (Tableau 10).

TABLEAU 10

Fossiles récoltés dans le Crétacé supérieur de la hamada el Homra

| PROVENANCE                              | ESPECES                               | CÉNOMANIEN | TURONIEN | SÉNONIEN<br>inf. | SÉNONIEN<br>sup. |
|-----------------------------------------|---------------------------------------|------------|----------|------------------|------------------|
| Terrain aviation d'Aouinet-Ouennin..... | <i>Exogyra flabellata</i> GOLDF.....  | +          |          |                  |                  |
| 42 km. S.E. de Derj....                 | <i>Tissotia tunisiensis</i> PERV..... |            |          | +                |                  |
| 8 km. et 32 km. O. de Derj.....         | <i>Alectryonia unguolata</i> SCHLOTT. |            |          |                  | +                |

## 9. — L'Eocène

Il est représenté dans la bordure orientale du Fezzan par les calcaires qui constituent le Haroudj occidental. Cet immense plateau s'étend jusqu'au N. du Tibesti et à l'E. d'une ligne sensiblement méridienne passant entre El Fogha et Khneir, à l'E. de T'messa, à l'O. d'Ouaou el Kebir, jusqu'au 23° parallèle N. Les affleurements se poursuivent très largement vers le désert de Libye à l'E. et vers la Tripolitaine au N.

Ils sont partout transgressifs sur les différents terrains rencontrés : nubiens du sérir el Gattousa, carbonifères du djebel ben Guenemma, dévoniens et siluriens du Lébo et du sérir Tibesti ou schisto-cristallins du Tibesti nord-oriental.

M. LELUBRE a décrit [88] la *goultière éocène* et a montré que les dépôts gréseux se trouvent à la base, au sommet, et sur les bords du bassin de cette série calcaire essentiellement lutétienne. Les pendages sont dirigés assez régulièrement vers le centre de ce bassin, trahissant cependant l'existence de larges ondulations.

Entre el Fogha et Khneir, et vers T'massa, A. DESIO, qui a décrit la série éocène, a observé des calcaires conglomératiques de transgression qu'il rapporte à une période Crétacé-Eocène [45].

Nous avons, pour notre part, observé entre Khneir et el Fogha que le passage de ces formations à des affleurements de grès calcaires et de marnes gréseuses qui affleurent dans l'oued Khneir et dans le Chati et sur lesquels nous reviendrons, était progressif; mais il n'a pas été possible d'observer leur passage aux calcaires franchement éocènes situés plus à l'E. en raison d'une topographie défavorable, très doucement vallonnée, et de terrains très couverts par des éléments récents.

Vers T'messa également, nous avons relevé le passage des calcaires gréseux et marnes gréseuses, qui s'étendent de part et d'autre de la ramla Marzuchia jusque vers Mourzouk, et dont nous reparlerons aussi, à des calcaires conglomératiques et qui s'étendent à l'E. de cette localité et qu'on peut trouver dès le sommet de la butte sur laquelle est construit le village. Par contre, le passage aux calcaires éocènes n'est absolument pas net; et s'il faut essayer de dégager une impression concernant les rapports existants entre des formations, il semble que ces « calcaires conglomératiques » s'intègrent à la partie supérieure de la série éocène, sans pouvoir dire s'il y a une continuité ou une discordance quelconque entre les dépôts. Il est évident, étant donné l'échelle de nos observations et la faible quantité d'affleurements, qu'il n'est pas possible de tirer argument de cette impression pour relier la formation du centre du Fezzan et du Chati, à celle du Fezzan oriental.

## 10. — Le Quaternaire

Certains auteurs attribuent une étendue relativement considérable aux affleurements de cet étage. Celui-ci, daté paléontologiquement, n'apparaît cependant qu'en des lieux éloignés les uns des autres.

### a) FEZZAN MERIDIONAL

Une faune lacustre encore actuelle, a été récoltée à Tejerhe par M. DALLONI et P. BELLAIR dans des marnes sableuses et des croûtes calcaires. La coupe qui se rencontre généralement, est constituée par :

A la base :

- un horizon d'argiles verdâtres ou bleu-gris, morcelés, souvent compacts, fossilifères;
- une couche de 5 à 10 m. de sables clairs, friables ou compacts suivant les endroits, marneux, livrant parfois quelques fossiles et comportant quelques traces ligniteuses. Ils contiennent plusieurs petits bancs d'argiles gris-vert se morcelant très facilement;

enfin, du calcaire constituant une croûte irrégulière d'une épaisseur de 0,50 à 1 m. Le calcaire est ici friable, rarement compact, souvent gypseux, d'aspect variable, différent cependant de celui des calcaires qui se rencontrent dans le Fezzan central.

Nous avons récolté à Tejerhe et à Gatroun, dans les sables intermédiaires, des spécimens multiples de *Bulinus contortus* MICHAUD qui est commun dans les eaux douces et limpides, d'Afrique du Nord entre autres.

Il faut aller très au S. du Fezzan, au delà du plateau de Djado vers Ichouma, pour observer une faune lacustre quaternaire.

#### b) FEZZAN CENTRAL

##### L'ERG DE MOURZOUK.

R. CAPOT-REY y signale [27], dans sa partie septentrionale, au S. de l'ouadi Heutba, dans des « tufs à grains de quartz et pellicules argilo-calcaires... » des exemplaires de *Limnées*, *Physes* ou *Planorbes*. D'après leurs positions par rapport aux dunes, ces tufs sont parfois antérieurs, parfois contemporains, voire postérieurs à celles-ci.

En aucun autre point de l'erg de Mourzouk, la présence des fossiles lacustres n'a été signalée.

##### HOFRA-CHERGUYA.

Dans la région de Mourzouk, dans des couches de calcaires et marnes sableuses, qui se poursuivent en formation continue au delà de Souila et même de T'messa, A DESIO, qui fit initialement de ceux-ci des terrains crétacés, a trouvé de mauvaises empreintes de fossiles que A. PAGNI [104] crut pouvoir attribuer au Jurassique avec certaines restrictions.

P. BELLAIR a justement fait observer que les fossiles cités *Valvata helicoïdes* FORBES et *Chara Jacardi* HERR, sont encore actuels et ne peuvent constituer un critère sérieux d'appréciation. S'appuyant alors sur des considérations lithologiques et pensant voir dans ces formations des traces de végétation sub-actuelle (tubulures, cannelures et trous correspondants à des emplacements de tiges ou de racines disparues), cet auteur les attribue au Quaternaire [5, 8].

Une discussion s'est engagée à leur sujet. Comme il a été dit plusieurs fois déjà, nous reviendrons sur cette question qui sera traitée en dernier lieu puisqu'en fin de compte, malgré une argumentation variée, ces « grès calcaires et marnes gréseuses » ou encore ces « calcaires de Mourzouk » (p. 73) ne sont pas encore datés.

## L'ERG D'OUBARI.

Des spécimens lacustres intacts, mêlés aux sables du reg qui s'étend au S.O. du lac de el Emba, y ont été récoltés. Il s'agit de *Bulinus contortus* MICHAUD.

Nous leur prêtons une certaine attention, car, sur plusieurs individus observés, aucun ne semblait roulé ou usé par un long voyage durant lequel il aurait été indéfiniment poussé par le vent à partir de son gisement initial.

## c) FEZZAN SEPTENTRIONAL

Des fossiles quaternaires ont été récoltés et signalés en plusieurs points du Chati.

## VERS GUIRA.

Dans le village même, dans des sables d'alluvions d'oued et dans ceux qui sont au pied des dunes qui se trouvent dans le village, ont été récoltés de nombreux spécimens de tailles diverses de *Pyrgula tuberculata* MÜLLER. (Pl. XXII, fig. 11 a, b).

## VERS BRAK.

Dans cette localité, dans les sables des jardins et plus au S., dans des dépôts sableux salés, ont été trouvés d'autres exemplaires aussi nets de *Pyrgula tuberculata* MÜLLER.

Au S. encore et au S.E., à 1 km. environ, a été notée une lumachelle comportant deux variétés de *Cardium* (*Cerastoderma*) *edule* LINNÉ (Pl. XXII, fig. 6 a, b; 7 a, b), qui se trouve à 60 ou 70 m. au total, en contre-bas de la falaise qui domine Brak

M. LELUBRE en avait observé la présence et l'a signalée [85] en de nombreux points du Zellaf, ravinant les grès marneux sur lesquels reposent les sables de la ramla (l'erg).

## DANS LE CHATI CENTRAL ET OCCIDENTAL.

D'autres lumachelles à *Cardium* (Pl. XXIII, fig 5) ont été trouvées en place entre Ouenzérîk et Berguen, puis entre cette localité et Douissa en un point déjà reconnu par A. DESIO. Les fossiles sont en parfait état malgré la fragilité des coquilles qui sont petites et minces. Tout indique que les bancs, s'ils ont été soumis à une érosion qui souvent les a nettement entamés, sont cependant en place et situent la limite septentrionale d'un système lacustre



quaternaire. Celui-ci s'est trouvé discordant sur les terrains du Dévonien vers Edri, du Tournaisien vers Berguen et Brak et sur les marnes gréseuses et calcaires gréseux qui constituent le soubassement du Zellaf et qu'on retrouve vers Khneir.

d) *EN RESUME*, les dépôts quaternaires, datés par des arguments paléontologiques, apparaissent comme étant, somme toute, très localisés. Vers le Chati, les ergs d'Oubari et de Mourzouk, ils doivent correspondre aux traces de systèmes lacustres qui sont apparus lors d'une ou plusieurs périodes humides quaternaires. Vers Tejerhe, ils sont plus importants et constituent une formation d'une épaisseur supérieure à une quinzaine de mètres dont on n'a pu explorer la base. P. BELLAIR classe parmi ceux-ci les *Calcaires de Mourzouk*, formations de marnes gréseuses et de calcaires gréseux qui affleurent en de multiples régions du Fezzan, et qui, suivant les auteurs, sont datés différemment. Précisons encore que les eaux des lacs d'alors n'étaient pas forcément salées et sursalées si ce n'est peut-être, lors de leur disparition et de leur évaporation qui purent provoquer des dépôts très localisés de sels dans les points bas d'alors.

## 11. — Les formations récentes

Nous abordons dans ce chapitre l'étude de formations dont l'âge n'est pas défini de façon précise et qui constituent, en fait, la grande majorité des affleurements du Fezzan. Leur étendue et leur uniformité étonnent le voyageur habitué aux variations rapides d'étages et de faciès, aux tectoniques plissées et souvent enchevêtrées de France ou de Berbérie. En effet, l'aspect général de ces régions tranquilles n'a pas dû changer beaucoup depuis le Tertiaire moyen. Depuis lors, l'érosion a été fort lente mais sujette à des recrudescences fort rares et d'intensités difficilement concevables, contemporaines des périodes humides durant lesquelles ont pu se former des dépôts lagunaires. L'érosion parvint ainsi, peu à peu, à araser les reliefs et à combler les dépressions par des matériaux alluvionnaires ou éoliens plusieurs fois remaniés, de mieux en mieux dispersés, répartis, classés ou sélectionnés suivant les cas.

Les variations du niveau de base dues à des mouvements d'ensemble, ont pu provoquer des remises en circulation des matériaux détritiques, concourant peu à peu à la pénéplanation générale de tout le territoire; l'altitude moyenne de celui-ci se maintient de la sorte entre 400 et 500-550 m. sur une superficie de l'ordre des trois quarts de celle de la France.

Cette érosion à long terme a commencé vers la fin de la sédimentation nubienne pour le Fezzan central, dès le retrait de la mer crétacée dans le Fezzan septentrional, et celui de la mer éocène sur la limite même du Fezzan oriental. Elle continue de nos jours son rôle : des dépôts qui en résultent constituent donc en fait des *dépôts compréhensifs*. Leur base date, pour les plus récents, de la fin de l'Eocène ou, localement, de la fin du cycle sédimentaire durant lequel se formèrent les dépôts de « calcaires-gréseux et marnes gréseuses » ; le sommet est actuel. Mais il est certain que l'intensité de la sédimentation fut plus grande durant les périodes humides appartenant en grande majorité, si ce n'est en presque exclusivité, croit-on, au Quaternaire ancien. Il est certain également que les dépôts en question, visibles actuellement, doivent à celles-ci leur plus grande part. C'est ce qui fait dire à M. DALLONI [32] que de tels dépôts sont quaternaires.

Ceux-ci d'ailleurs se présentent de façon très différente et leurs puissances sont variables.

#### 1. — LES HAMADAS

Les hamadas, telles que la hamada el Homra, la hamada de Mourzouk, le Zegher, correspondent à des plateaux subhorizontaux, couverts d'un revêtement rocailleux, le plus souvent pelliculaire, pratiquement plat avec de très rares accidents topographiques ou de très doux vallonnements.

Le revêtement est constitué par des cailloux autochtones patinés, polis, guillochés, taraudés par l'action éolienne. De la taille d'un gros œuf en moyenne, ils reposent à même sur les couches rocheuses (calcaires durs, calcaires silicifiés, grès quartziteux) ou sont englobés dans une couche de cailloux semblables et enchassés alors dans du sable ou du *feich-feich* qui en comble les interstices.

Ce revêtement est entrecoupé par des lits d'oueds qui se présentent sous forme de légères dépressions plus ou moins continues, où les sables se sont accumulés et où est cantonnée la rare végétation qu'on rencontre dans ces régions. Il est également entrecoupé par des passées de sable ou de *feich-feich* qui encombrent les moindres bas-fonds.

Les hamadas constituent, avec les djebels éruptifs du N. dont il va être question, les seuls reliefs du territoire (le Tadrart-Akakous constitue une exception); elles se terminent sur les grandes dépressions qui les bordent, par une grande falaise. Leurs surfaces topographiques plates se superposent en général à une surface structurale : ainsi nous avons vu que la dalle du Turonien constitue une grande partie de la hamada el Homra; sa surface est de ce fait inclinée dans le même sens que la dalle; son altitude pas-

se ainsi de la cote 750 vers l'oued Souamakh, à la cote 640 à 30 km. au S. de bir Ghzel où on aborde les alternances de calcaires et de marnes du Turonien supérieur-Sénonien inférieur.

## 2. — LES SERIRS

Ceux-ci correspondant plus à un type de dépôts qu'à une configuration géographique : ils sont synonymes d'étendues globalement plates dont le sol est constitué par des dépôts de graviers, de sables ou de *feich-feich* en étendues souvent considérables. Ainsi le sérir el Gattousa est constitué dans sa partie centrale et méridionale par des amas de *feich-feich* recouverts d'une pellicule sablonneuse qui gênent énormément la progression. Sur sa bordure septentrionale, où se trouvent des buttes gréseuses nubien-nes, et au débouché des oueds qui viennent du sérir Oum el Alla, on observe des recouvrements très étendus de graviers de 1 à 2 cm. de diamètre (les « *dragées* » des grès) remarquablement calibrés. Ils sont noyés en profondeur dans du sable qui, en surface, a été enlevé par le vent.

Un autre type de sérir ou « *reg* » existe à la limite des ergs ou des ensembles dunaires : il s'agit d'étendues plates dont le sol est formé par du sable compact, le plus souvent grossier, résistant à la pression (par conséquent praticable même pour les automobiles), barré par quelques siouf toujours orientés suivant des directions privilégiées, ou par quelques passages de *feich-feich* d'étendues variables. Une telle disposition est réalisée dans la ramla Marzuchia, la plus grande partie du Zellaf, le secteur occidental de l'erg d'Oubari, la partie orientale de l'erg de Mourzouk, en bordure de l'erg Taita, au S. du Zegher, à partir de Gatroun et Tejerhe vers le Tibesti, etc...

On peut se demander si les dunes des ergs ne reposent pas, d'une façon générale, sur ce genre de formations sableuses dont le tassement opposé à la fluidité du sable dunaire, fait penser à une sédimentation ou à un remaniement en milieu immergé. Les tufs relevés par R. CAPOT-REY dans les dunes situées au S.O. de l'ouadi Heutba, et les fossiles lacustres récoltés dans les sables de l'erg d'Oubari, peuvent constituer les témoins de ces périodes d'immersion. Lors de celles-ci, en effet, à la suite de pluies importantes, torrentielles ou répétées, une nappe d'eau qui put persister durant des temps plus ou moins longs, a pu s'étendre à la surface des ergs, niveler les sables des dunes, les tasser et parvenir ainsi à constituer les regs, voire même localement, dans les zones sans écoulement (Sud de l'oued Heutba-région de Tejerhe, Gatroun), à déposer, lors de son évaporation, sous forme de croûtes tuffeuses, les minéraux dissous.

### 3. — LES ERGS

Ils sont synonymes de dépôts sableux dunaires, mais sont le plus souvent constitués, pour une grande part, par un reg sableux, la *ramla*. Ils correspondent à la concentration de sables en des régions privilégiées et le plus souvent suivant des orientations privilégiées dues à une action éolienne dans certains cas (*siouf*) et probablement à la configuration d'une topographie fossile. Ces sables sont prélevés sur les dépôts voisins, constitués par les *regs* ou *sérirs*, les alluvions d'oueds et les éboulis gréseux où la dégradation est la plus intense. Ils ont subi une sorte de classement puisque leur transport est fonction de la force du vent et du diamètre des grains. Ils constituent les *kantaras* séparées par les *ouadis* ou encore *feidjs* (Pl. XIX, fig. 4) qui sont barrés par les *siouf*.

De telles accumulations éoliennes de sable sont donc postérieures à la formation des *sérirs* et encore en voie de formation. Leurs dispositions mêmes sont en état constant de modification pour tendre vers un équilibre sans cesse détruit par le jeu compliqué, et essentiellement variable, des forces atmosphériques.

### 4. — LES DEPOTS DE FEICH-FEICH

Ce sont des formations éoliennes, jamais amassées en dunes, mais réparties uniformément à la surface du sol ou dans les dépressions. Il semble que leur disposition soit la conséquence d'une extrême mobilité due elle-même à la finesse des particules qui les constituent et qu'un souffle léger suffit à mettre en mouvement. Ceci jusqu'à ce qu'une disposition horizontale de la masse ne donne plus de prise aux vents. Ces particules peuvent être tenues en suspension dans l'air et être à l'origine des pluies de boues ou de sable observées à maintes occasions en des points très divers [10].

Remarquons qu'en certaines régions, notamment vers Tejerhe, certains *feich-feich* reposent sur les dépôts de sables et de graviers constitutifs des *sérirs* et sur les dépôts quaternaires datés.

Sur le plan stratigraphique, les *feich-feich* doivent être un équivalent des dépôts éoliens des *ergs*, donc quaternaires; les caractères dimensionnels des éléments constitutifs, varient simplement d'un type de sédiment à l'autre.

### ETUDE PÉTROGRAPHIQUE.

Lors du lavage d'échantillons de *feich-feich*, pour l'étude de leurs minéraux lourds par exemple, le fait qu'ils comportent une certaine part d'élé-



ments argileux apparaît nettement. L'étude de quelques uns d'entre eux, suivant la méthode décrite plus loin (p. 106) a permis les observations suivantes (Tableau 11) :

TABLEAU 11  
Analyses chimiques de Feich-Feich

| PROVENANCE           | INSOLUBLES<br>% | CaO % | MgO % | CO <sup>2</sup> % | pH  |
|----------------------|-----------------|-------|-------|-------------------|-----|
| Oued Tanezzouft..    | 72,32           | 2,1   | 0,07  | 1,69              | 5,8 |
| Zellaf septentrional | 1,48            | 33,2  | 0,64  | 25,8              | 7,4 |
| N. de Tejerhe....    | 15,2            | 1,8   | 1,36  | 3,89              | 6,8 |

a) *Feich-feich* prélevé dans le lit de l'oued Tanezzouft (Fezzan occidental). La fraction argileuse est constituée en proportions sensiblement égales de kaolinite et d'illite. Nous avons trouvé des proportions identiques dans la fraction argileuse des argiles schisteuses gothlandiennes (p. 106).

b) *Feich-feich* prélevé sur la bordure septentrionale du Zellaf au S. de Brak.

La fraction argileuse contient 90 % au minimum de kaolinite. Ce qui correspond aux proportions observées dans la fraction argileuse d'argiles appartenant à l'épisode continental tournaisien du Chati. La forte proportion des carbonates provient très vraisemblablement de l'apport des marnes gréseuses et calcaires du paléogène supérieur voisin.

c) *Feich-feich* violet, prélevé à 30 km. au N. de Tejerhe.

Les proportions de kaolinite sont supérieures à 90 %, dominant nettement le mica.

Ceci évoque, pour le matériau, une sédimentation en milieu très acide sous un lessivage faible, ou faiblement acide sous un lessivage intense, comme cela a pu se passer durant la période de sédimentation continentale nubienne. L'analyse chimique lui confère un caractère dolomitique faible, peut-être dû au mélange de matériel nubien et de matériel provenant de l'O., des affleurements quaternaires de la gouttière Tejerhe-Gatroun.

Pour les dépôts éoliens en pays arides, ceci tend à montrer que les *feich-feich* ne sont, comme il fallait s'y attendre, qu'un remaniement mécanique des sédiments affleurant aux alentours.

Notons que ces dépôts ont un aspect très comparable à celui du *loess* rhénan tel qu'il est décrit par V. MALICHEFF [92] ou du *loess* décrit par V. AGAFONOFF [1].

## 5. — LES DEPOTS SALES

Ceux-ci ont une grande extension au Fezzan. Ils résultent de la concentration, en certaines régions de prédilection, de masses de sels. Deux mécanismes peuvent être à leur origine. Suivant l'un, elles peuvent correspondre aux résidus d'évaporation de systèmes lagunaires éphémères antérieurs, dans les bas-fonds d'alors. Suivant l'autre, elles peuvent correspondre à des sebkhras plus ou moins développées; ce sont alors les produits d'évaporation de nappes d'eau dont le niveau est à proximité, ou s'est trouvé à proximité, de la surface du sol

### LOCALISATION.

Les dépôts salés classiques se trouvent, d'une façon générale, dans les parties topographiquement les plus basses des différentes régions du Fezzan : Région de Ghat et de Serdelès vers l'O., dépression de Gatroun-Tejerhe vers le S., dépressions de Majedoul-Oum el Adam et de T'messa vers l'E., dépressions de l'ouadi Heutba, de la Hofra, d'une partie de la Cherguya et de l'ouadi el Ajal vers le centre, dépression de Bouanis (Pl. XIX, fig. 5), du Chati oriental et occidental, de la région d'el Hassi et plus au N. de Derj et Ghadamès vers le Fezzan septentrional.

En tous ces points, on rencontre d'immenses sebkhras qui présentent parfois l'aspect de véritables champs défoncés comme à Edri (Pl. XIX, fig. 6). Le plus grand nombre correspond à des zones humides où l'eau est proche de la surface du sol (quelques centimètres à 1,50 ou 2 m.) et où d'énormes blocs de sels enchevêtrés laissent voir de gros vides par où l'air peut circuler, accroissant ainsi les possibilités d'évaporation. Quelques-unes correspondent à des sebkhras sèches, fossiles comme vers l'E. de Ghadamès : là, le niveau de l'eau échappe à l'évaporation et le mécanisme de dépôt des sels s'est trouvé de la sorte arrêté.

Des zones salées, moins importantes en superficie, se trouvent en zone aval de tous les villages qui souvent, par définition, notamment au Chati et vers Serdelès, sont installés en des points où l'eau est plus accessible (artésienne ou voisine du sol) : dans ces régions de prédilection, les eaux parvenues au voisinage de la surface du sol par le jeu de l'artésianisme ou d'irrigations excessives, s'écoulent, percolent vers les points bas (zone aval) s'évaporent et déposent les sels dissous durant leurs parcours. Ces mécanismes nous deviendront très familiers lorsque nous aborderons l'hydrogéologie (Pl. XIX, fig. 3).

Il existe d'autres types de dépôts salés constitués par ceux des lacs de la « région des lacs » (Pl. XX, fig. 1) de l'erg d'Oubari (Pl. VI), du lac de T'messa et de celui de Gatroun. Dans les premiers, le *natron* se forme en

telles quantités qu'il peut se prêter à une exploitation. Nous avons pu explorer en détails la région des lacs et consigner de nombreuses observations utiles pour l'interprétation du mécanisme de ces concentrations : l'étude des sels composant le *natron* des fezzanais, et l'étude de leurs conditions de dépôt, seront exposées dans la 3<sup>e</sup> partie (p. 303).

#### LES SELS.

Dans la plupart des cas, le composant essentiel de ce genre de dépôts est le sel gemme  $\text{ClNa}$ . A. DESIG a donné [50] deux analyses de la sebkhra de l'ouadi el Ajal qui s'étend localement entre les villages et l'erg, dans la dépression qui les sépare. Elles illustrent ce fait général.

|   | 'Na    | Ca    | $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{SiO}_2$ | Cl     | $\text{SO}_4$ | $\text{CO}_2$ | Eau 110° | Inso-lubles |
|---|--------|-------|-------------------------------------------------|----------------|--------|---------------|---------------|----------|-------------|
| 1 | 36,442 | 0,756 | 0,152                                           | 1,804          | 56,202 | 1,798         |               | 1,990    |             |
| 2 | 35,802 | 1,158 |                                                 |                | 52,378 | 2,398         | 3,652         | 0,152    | 3,469       |

Il arrive qu'en certains points, en dehors des lieux où se déposèrent les sels carbonatés (le *natron* que nous avons déjà cité) et en dehors des sebkhras typiques, d'autres sels se sont déposés, constituant des petits gisements très disséminés et dont, malgré notre attention, il n'a certainement pas été possible de faire l'inventaire complet.

Il semble alors (Tableau 12) que les ions  $\text{SO}_4$  prédominent nettement et que les carbonates sont très rarement représentés en quantité importante (Tableau 13). A Serdelès cependant, on relève la présence de 26,5 % de  $\text{CO}_3$  qui constitue l'élément essentiel de l'échantillon étudié. A l'exception des échantillons de Tan Reddine (région de Serdelès) et de Gatroun qui proviennent des sebkhras humides, donc en activité, où les chlorures apparaissent en quantités non négligeables (11,50 % et 30,70 %) et de ceux de bir Gualmara qui proviennent de dépôts humides de sources où les sulfates alcalins et alcalino-terreux sont abondants (18 et 4 %), tous proviennent de dépôts desséchés qui se trouvent souvent à proximité des nappes d'eau.

Nous avons essayé d'établir des associations ioniques mais celles-ci ne peuvent qu'être globales étant données les méthodes d'analyses employées : c'est pourquoi nous ne présentons pas de formules dans le cas des sulfates qui peuvent avoir des constitutions multiples.

Il apparaît que les sebkhras actuelles, en activité, sont caractérisées par la prédominance des chlorures et de sulfates alcalins et alcalino-terreux. Il semble que dans les dépôts salés anciens étudiés (en dehors des dépôts carbonatés de l'erg d'Oubari), les sulfates de métaux trivalents notamment, soient prédominants.

TABLEAU 12

## Compositions chimiques de quelques dépôts salés du Fezzan

| PROVENANCES                                           | HUMIDITÉ | HUMIDITÉ<br>Eau<br>de cristal. | AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | SO <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | Na    | Cl    | K    | PERTE<br>AU FEU | INSOLUBLES |
|-------------------------------------------------------|----------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----------------|-------|------|-------|-------|------|-----------------|------------|
| <b>Fezzan Occidental</b><br><b>Région de Serdelès</b> |          |                                |                                |                                |      |                 |       |      |       |       |      |                 |            |
| Tin Rorasène.....                                     | 0,72     |                                | 0,52                           | 1,72                           |      | 0,67            | 14,84 | 0,59 | 0,37  | 1,49  | —    | 14,23           | —          |
| Tin Rorasène voisin                                   |          | 29,11                          | 0,81                           | 25,82                          |      | 40,41           | —     | 2,48 | 0,40  | 0,64  | —    |                 | 0,33       |
| Tinazarife.....                                       |          | 43,42                          | 16,55                          | 1,01                           |      | 55,91           | 0,06  | 2    | 0,28  | 0,57  | —    |                 | 0,30       |
| Tinazarife voisin...                                  |          | 45,02                          | 12,92                          | 0,87                           |      | 34,70           | 0,34  | 2,12 | 0,16  | 0,17  | —    |                 | 3,70       |
| Tan Reddine (Kebbo)                                   |          | 27,19                          | —                              | —                              |      | 22,78           | —     | —    | 27,83 | 6,67  | 3,85 |                 | 11,58      |
| <b>Fezzan Sud-Oriental</b>                            |          |                                |                                |                                |      |                 |       |      |       |       |      |                 |            |
| Wigh el sérir.....                                    |          | 40,77                          | 15,61                          | 1,58                           |      | 32,12           | —     | 0,78 | 0,12  | 1,20  | —    |                 | 7,82       |
| GATROUN (Sebkhra).                                    |          | 4,67                           | —                              | —                              |      | 8,79            | 3     | 1,26 | 13,11 | 18,46 | 0,73 |                 | 49,88      |
| <b>Fezzan Septentrional</b>                           |          |                                |                                |                                |      |                 |       |      |       |       |      |                 |            |
| T'Missan....                                          |          | 39,03                          | 14,78                          | 1,58                           |      | 31,19           | —     | 0,58 | 0,17  | 1,91  | —    |                 | 10,76      |
| CHATI Ech-Cheb...                                     |          | 38,65                          | 6,23                           | 2,3                            | 4,80 | 10,71           | 1,30  | 0,92 | 1,03  | 3,01  | —    |                 | 3,35       |
| Bir Gualmara                                          |          | 11,40                          | —                              | 27,38                          |      | 37,83           | 8     | —    | 1,55  | —     | —    |                 | 11         |



TABLEAU 13

## Constituants essentiels des dépôts salés étudiés

| PROVENANCES             | CONSTITUANTS ESSENTIELS                                 | PROPORTIONS<br>(environ) |
|-------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------|
| SERDELÈS                |                                                         |                          |
| Tin Rorasène .....      | $\text{CO}^3\text{Ca}$ .....                            | 26,5 %                   |
| Tin Rorasène voisin ..  | Sulf. ferrique + un peu de sulf. d'alumine...           | 65                       |
| Tinazarife .....        | Sulf. d'alumine + un peu de sulf. ferrique..            | 50                       |
| Tinazarife voisin ..... |                                                         |                          |
| Tan Reddine .....       | $\text{ClK} - \text{ClNa}$ .....                        | 7,30 — 5,20              |
|                         | Sulfate basique de sodium .....                         | 62,50                    |
| Wigh el sérir .....     | Sulf. d'alumine + un peu de sulf. ferrique...           | 46                       |
|                         | $\text{ClNa} - \text{ClK}$ .....                        | 29,30 — 1,40             |
| Gatroun .....           | $\text{SO}^4 \text{Na}^2$ .....                         | 4,90                     |
|                         | $\text{SO}^4 \text{Mg} - \text{SO}^4 \text{Ca}$ .....   | 4 — 7,30                 |
| T'Missan .....          | Sulf. d'alumine + un peu de sulf. ferrique..            | 46                       |
| Ech-Cheb .....          | Sulfate acide d'alumine et de manganèse....             | 44                       |
| Bir Gualmara .....      | Sulfate basique de fer .....                            | 51                       |
|                         |                                                         |                          |
|                         | $\text{SO}^4 \text{Na}^2 - \text{SO}^4 \text{Ca}$ ..... | 18 — 4                   |

## 12. — Les roches éruptives

Celles-ci sont rares au Fezzan même.

## EPANCHEMENTS

Les roches volcaniques existent principalement à la périphérie : au S. dans le Tibesti nord-oriental, à l'E. dans le Haroudj, au N. dans le djebel Fezzan et vers le djebel es Soda.

En dehors de ces grandes manifestations volcaniques, de plus faibles apparaissent, toujours à la périphérie du territoire, au S. vers Tejerhe, vers Ouaou en Namous, entre Ouaou en Namous et Ouaou el Kebir, à l'E. en bordure du Haroudj, et au N., à quelques kilomètres de Berguen, dans le Chati.

## ETUDE PETROGRAPHIQUE

## a) AU SUD.

Dès 1919, A. LACROIX a donné des observations sur les laves des volcans du Tibesti [80] et du Nord du Tibesti [81] où se trouvent des laves à excès de silice et de caractère calco-alcalin net, et non des roches à néphéline, à silice déficiente, comme c'est le cas plus au S. A. DESIO cite [45] la présence de basaltes à néphéline vers Ouaou en Namous, à plagioclases et olivine dans le Haroudj méridional, et à plagioclases vers Tejerhe.

## b) AU NORD.

A. DESIO cite la présence de basaltes à plagioclases et olivine, à sodalite et néphéliniques vers le djebel es Soda (PAGLIANI [103]), et de phonolites aëgyriniques entre Douissa et Berguen.

## c) LES BASALTES DU DJEBEL FEZZAN.

Nous avons pu réaliser quelques plaques minces dans les matériaux provenant de diverses régions du djebel Fezzan qui n'avaient pas été étudiées.

1. *Echantillons provenant de gisements situés au S. de la bifurcation vers Brak et Khneir et ramassés en bordure de la route se rendant à Brak* (Pl. XXV, fig. 1, 2).

Il s'agit de basaltes à plagioclases (labrador) et olivine, très basiques.

Les péridots sont très altérés en oxyde de fer, sur leurs bordures et vers leurs centres; on trouve de belles plages de calcite concrétionnée, de l'ilménite et de nombreuses traces d'oxyde de fer.

2. *Echantillons provenant de la région du col Méquillet* (Pl. XXV, fig. 3, 4).

Il s'agit de basalte doléritique (structure ophitique). On y observe des plagioclases basiques et des olivines très altérées notamment au centre des grains, et présentant de la sorte des teintes rouilles, d'intensités diverses (confusion possible avec l'augite). On trouve peu de biotite d'ailleurs toujours très altérée, de l'oxyde de fer, de la calcite d'altération, en concrétions, et pas de chlorite d'altération.

Dans l'un et l'autre cas, il s'agit de roches volcaniques très basiques, pratiquement caractérisées, dans les deux régions, par les seuls éléments calco-alcalins et ferro-magnésiens et par la silice.

*Leur âge* : Tous les auteurs qui ont étudié ces épanchements sont d'accord pour les rattacher à une période post-éocène qui s'étendrait jusqu'au Quaternaire récent. D'ailleurs, les basaltes recouvrent les terrains éocènes vers le S. (Tibesti) et l'E. (Haroudj), crétacés (djebel Fezzan) et éocènes (djebel es-Soda) vers le N.

### 13. — Les calcaires de Mourzouk

Nous avons déjà parlé maintes fois des « *calcaires gréseux et marnes gréseuses* », notamment à propos des dépôts éocènes et quaternaires. La situation actuelle du problème est telle que ceux-ci, considérés pendant longtemps comme jurassiques, sont rattachés à l'Eocène, au Pliocène ou au Quaternaire suivant le cas.

Ils affleurent en des points multiples du territoire mais ont été observés initialement dans la région de Mourzouk.

#### 1. — HISTORIQUE

En 1938, A. PAGNI formula, comme nous l'avons déjà dit, la possibilité de les attribuer au Jurassique. P. BELLAIR en 1944, infirma les arguments de cet auteur et généralisa des observations qu'il avait faites notamment vers Tejerhe, aux autres affleurements du même genre du Fezzan central qu'il attribua au Quaternaire. M. LELUBRE, en l'absence de données paléontologiques démonstratives, considère [85] ceux-ci comme étant d'un cycle principalement éocène et comme pouvant comprendre des formations soit lacustres, soit lagunaires, soit marines, liées à la présence de la mer peu profonde au Fezzan oriental à cette époque. A.F. DE LAPPARENT, en 1949, en fait du Pliocène en tablant sur leur analogie avec les calcaires de Fort-Flatters et des croûtes hamadiennes du Sud-oranais. A. CORNET compare [30] les calcaires du Chali au faciès de certains calcaires lacustres crétacés du Sahara soudanais.

#### 2. — LES AFFLEUREMENTS

Dans l'ouadi Heutba (Pl. IX) et notamment vers Doujal, on peut observer une couche de calcaires qui couronne la plupart des petites buttes très basses qui constituent l'unique relief. Elle a une épaisseur d'environ 3 à 4 m. : ce sont (Pl. XX, fig. 2) des calcaires blancs, poudreux, peu consistants, bréchoïques, à éléments de calcaires gris-beige, très compacts, noyés dans une masse friable, reposant sur des marnes gréseuses. On y remarque quelques traces de tubulures, en général verticales, à peu près isodiamétriques, remplies de marnes souvent très calcaires.

Au N. de Tesaoua, se trouve une coupe de 1 m. environ dans la dénivellation qui constitue la limite méridionale de la hamada de Mourzouk. On peut y observer du calcaire blanc, poudreux, gypseux, à petits bancs de

sable intercalés, couvert par un calcaire rognonneux et mamelonné blanc. Le sondage entrepris à es Sbetat, parvenu à 24 m., n'est pas sorti des dépôts marneux qui doivent avoir une épaisseur supérieure à 30 m. (p. 216).

A un kilomètre à l'intérieur de la hamada, la surface du sol est revêtue de cailloux de calcaires scoriacés, patinés, gris-bleu, gris-beige sur la cassure, contenant des grains de quartz en quantité variable. A 15 km. au S. de Bab Maknoussa (Pl. V), la hamada est constituée jusqu'à ses limites méridionales et orientales, par d'innombrables petites buttes à sommet horizontal, surélevées de 1 m. environ, couvertes de cailloux calcaires patinés, gris-bleu, identiques aux précédents et entourées de *feich-feich*.

*Vers Ghoddoua*, à l'O., à l'E., et au N. de cette localité, on peut observer des calcaires gris, beiges sur la cassure, grâce à quelques ravinements. Ils constituent une couche résistante qui repose sur des marnes gréseuses, un peu gypseuses, d'épaisseur indéterminée. Cette coupe est visible sur 2 à 3 m.

On ne retrouve plus ces formations sur tout le tracé de l'ouadi Nescouia. A Ghoddoua même, dans le lit de l'oued, les puits restent souvent durant 15 m. dans des sédiments grés-marneux, peu consistants, qui ne doivent pas appartenir au Nubien. Il semble que le niveau de base des oueds, s'est abaissé après le dépôt des formations de calcaires et marnes gréseuses, qui sont ravinées, puis s'est peu à peu relevé pour arriver à la période actuelle où la pente est à peu près nulle.

*Dans la Hofra*, à 5 km. au N. de Mourzouk, on observe des grès calcaires blancs, rognonneux, à tubulures, bréchoïques au sommet, identiques à ceux qui ont été relevés vers Doujal. On a, de la base au sommet (Pl. XX, fig. 6) :

|                                                                                 |         |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Calcaires gris-beige, compacts, durs.....                                       | 0.50 m. |
| Marnes gréseuses gris-vert.....                                                 | 1.30 m. |
| Calcaires blancs, poudreux, gypseux par endroits.....                           | 0.20 m. |
| Marnes sableuses, à passées gréseuses, gris-vert.....                           | 3.00 m. |
| Calcaires blancs, bréchoïques, à éléments de calcaires compacts gris-beige..... | 0.60 m. |

*Vers Fongoul*, à mi-chemin sensiblement entre Mourzouk et Traghem, se trouve une gara qui, de la base au sommet, présente la série suivante :

Marnes gréseuses vert clair, gypseuses.  
Calcaires poudreux, gypseux.  
Calcaires blancs, compacts, gris-beige.

Le tout présente un pendage de 3° à 5° au S.E.

A *Traghem*, on ne trouve pas de calcaires et marnes gréseuses, mais des grès marno-gypseux (cf. Etude granulométrique et de minéraux lourds)



et des argiles vertes (cf. Etude pétrographique) employées pour le revêtement des maisons, ce qui donne à ce village de style soudanais, un caractère très particulier.

Vers l'E., les calcaires disparaissent : c'est le Nubien qui affleure entre Traghem et Oum el Araneb.

Dans toute cette région, plusieurs forages par « battage à mains » (3 à Traghem : n° 321, 322 et 323) et par rotation (1 à Oum el Araneb, n° 548 et 1 à Touila, n° 549) ont été foncés à des profondeurs variables (respectivement 32, 33, 34, 150 et 150 m.). Des coupes n'ont été relevées que pour les deux plus profonds. Il s'agit essentiellement de terrains sableux, friables, à peine consolidés, malléables sitôt qu'ils sont imprégnés d'eau, probablement argileux sans passée nette. Les plaques minces montrent des débris de quartz extrêmement petits (0,04 et 0,02 mm. en moyenne, donc nettement inférieur à la maille du tamis 325) entre les grains de toutes allures et de toutes tailles.

S'il s'agit entièrement des dépôts de base de la période de comblement du Paléogène supérieur, l'épaisseur de ceux-ci est importante (supérieure à 160 m.). Il est cependant très probable qu'une coupure assez peu nette existe dans les deux séries à 57 m. à Oum el Araneb et à 35 m. environ à Touila (fig. 16). De la sorte, suivant le cas, l'épaisseur des dépôts du Paléogène varierait de 60-70 m., à 160 m. environ.

L'absence de tout élément calcaire dans les sédiments observés à la base et au sommet des séries, est remarquable et constitue un fait nouveau ou classique suivant qu'ils sont post-nubiens ou nubiens. En ce qui concerne les couches supérieures qui sont du Paléogène supérieur, au moins jusqu'à 57 et 35 m., on découvre en effet que les calcaires de Mourzouk se réduisent à une couche de 1,50 à 2 m. qui apparaît au sommet d'une formation détritique comme une *macro-croûte*, produit de la concentration vers la surface du sol des minéraux solubles disponibles sous des conditions idoines de climat : les eaux ne trahissent pas, pour ces dépôts détritiques, une salure différente de celle des dépôts sous-jacents, nubiens. Plus vers l'E., à T'messa, l'épaisseur visible de la série s'avère supérieure à 40 m.

Dans la *Cherguya*, on retrouve des affleurements calcaires à l'E. d'Oum el Araneb : entre cette localité et Souila et plus exactement entre el Bder et Méségouine notamment, on retrouve le faciès initial, un moment perdu vers Traghem, avec de la base au sommet :

Grès calcaro-marneux à points de lignite.

Calcaires gris, compacts, ou fissurés dont le sommet, très feuilleté, présente de curieux mamelons.

Calcaires poudreux, blancs, contenant des galets de calcaires sous-jacents et ravinant les précédents.

A *T'messa*, un lac se trouve dans les marnes sableuses vertes en bordure de la ramla. Le village est installé sur une butte élevée, de 40 m. environ, constituée par des marnes grés-sableuses, couronnée par des calcaires gris-beige, bréchoïques, contenant de gros morceaux de silex et des calcaires gréseux.

Vers l'E., ces formations calcaires se poursuivent avec un caractère conglomératique net (p. 59).

Dans la majeure partie du sérir el Gattousa, on trouve d'interminables étendues de calcaires; dans une gara, nous avons pu relever sur 12 m., de la base au sommet :

Marnes gréseuses gris-vert, souvent pulvérulentes.

Calcaires gréseux, compacts, gris-bleu, patinés, avec des galets et amas de silice blanche, laiteuse.

Au S. de ces régions, on observe encore des affleurements de grès calcaires gris, en plaquages très noyés dans les sables, sur la bordure nord de la ramla Marzuchia et sur sa bordure méridionale vers Madjedoul, et jusqu'à 60 km. de cette localité dans la direction de Gatroun.

A Gatroun et Tejerhe affleurent des calcaires blancs peu compacts, rognonneux, quaternaires déjà décrits (pp. 60 et 61).

Au N. de la hamada de Mourzouk on retrouve des calcaires gris-bleu et gris-beige en plaquages, entre Ghreifa et el Hatya (Pl. VII) et vers Djerma, à 1 km. à peine de la falaise du Nubien. Les dépôts y sont peu épais (1 à 1 m. 50), horizontaux. Ils sont absolument identiques à ceux qu'on peut rencontrer dans l'erg ou dans la hamada de Mourzouk.

Au N. du sérir el Gattousa, on peut observer, près de Fort-Leclerc, des marnes sableuses gris-vert, coiffées de calcaires gypseux très compacts.

Dans l'erg d'Oubari, entre el Emba et Edri et, dans toute la région des lacs, dans la plupart des ouadis, affleurent des plaquages de calcaires gréseux, gris-beige, recouvrant des marnes sableuses gris-vert. Nous avons parfois pu relever un pendage faible vers le S. Au puits de Ouen-Titi, sur le parcours de Edri à Oubari, celui-ci atteint 30° S.; mais ceci paraît être une exception due à un effondrement local. Au puits de Ouen-Arab situé plus au N., on peut observer un pendage de 4° vers le N.E. Partout ailleurs dans la plupart des ouadis qu'on rencontre entre le puits précédent et el Emba et dans la région des Lacs, une tendance de 1 ou 2° vers le S. se discerne assez nettement.

Dans le Bouanis, avant d'arriver à Oum el Abid, on peut observer de souples vallonnements de calcaires marneux blancs et de marnes sableu-

ses gris-vert, qui affleurent sur de grandes étendues. A 1 km. de l'oued Khneir, dans une gara, nous avons relevé la coupe suivante, de la base au sommet :

Grès grossiers, ocres et blancs, à ciment calcaire.

Grès calcaires, à galets de calcaires gris-beige.

Grès blancs, durs plus ou moins quartziteux.

Au N. de l'oued Khneir, au col Garibaldi (Pl. XX, fig. 3), on peut observer une coupe de 15 m. environ dans la falaise dont le Roc de Garibaldi est un témoin avancé; la succession est la suivante de la base au sommet (Pl. XX, fig. 4) :

Marnes grés-sableuses, à points de lignite.

Grès marneux, compacts.

Calcaires plus ou moins compacts, blancs, gris, recouvrant le tout et constituant le sommet de quelques buttes surbaissées.

Ces formations se poursuivent vers l'E. où nous avons pu observer que le grès calcaire devient grossier et la présence de calcaires conglomératiques (p. 59) sur les marnes sableuses.

Dans le Chati (Pl. XX, fig 5), elles recouvrent les formations du Dinanien suivant une discordance qui est bien visible tout au long de la falaise discontinue qui s'étire jusqu'au méridien de Gotta. Elles se retrouvent sur la bordure septentrionale du Zellaf (Pl. XIX, fig. 3) où elles sont entaillées sur une dizaine de mètres par l'ouadi qui sépare l'erg des affleurements paléozoïques situés plus au N.

La série se présente en général de la façon suivante; de la base au sommet :

Couches marno-sableuses, non homogènes, souvent marneuses et compactes, ou gréseuses, gris-vert en général, souvent blanches, quelquefois bleutées. Elles contiennent des intercalations de fins bancs gréseux. Dans les plus importants, sous la dalle supérieure, on relève une granulométrie extrêmement grossière et une stratification entrecroisée. Ces lits ne sont pas horizontaux mais légèrement et assez régulièrement ondulés. Au sommet de ces couches notamment, nous avons observé de très nombreux petits bancs de calcite en colonnettes très denses, se présentant souvent sous forme de prismes (faces  $e^2$ ) allongés, de couleurs très variables : gris, vert-pâle, bleuté, rouge-vif, rosé.

Leur épaisseur est de l'ordre de 20 m.

Couches de calcaires gréseux ou, suivant les endroits, de grès calcaires très durs, compacts, à larges fissures remplies par du calcaire blanc friable. Elles constituent la dalle qui marque le sommet de la plupart des plateaux du Chati oriental. Vers le Sud, elles apparaissent sporadiquement sur la bordure septentrionale extrême du Zellaf.

Son épaisseur, d'ailleurs variable, est en moyenne de 2 à 10 m.  
 Les couches sont subhorizontales, le pendage est voisin de 1° vers le  
 S. (Pl. xix, fig. 1-2).

Ces formations sont très profondément ravinées (50 m.); en particulier toute la portion comprise entre la falaise où affleurent le plus nettement les terrains paléozoïques et le Zellaf, a été enlevée depuis la partie centrale du Chati jusqu'à Khneir.

Au N. du Chati, à 12 km. au N. d'Edri, sur la piste qui mène à Aouinet-Ouennin et à 30 km. avant d'arriver à ce point, au puits de el Hassi, on retrouve des affleurements de calcaires identiques. En ce dernier point, en particulier, les calcaires se présentent sur des dizaines de kilomètres-car-rés, ravinés et couverts de *feich-feich*, très gypseux. La succession ordinaire, de la base au sommet, est la suivante :

|                                                                          |                  |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Marnes sableuses, verdâtres, pulvérulentes au<br>sommet.....             | 2 à 5 m. et plus |
| Calcaires gris-beige, compacts, patinés et gris-<br>bleu en surface..... | 0.30 m.          |

Le puits de el Hassi est foncé dans ces calcaires.

M. LELUBRE signale des affleurements vers In Sif au S. de la hamada el Homra et à bir Mestouta dans l'erg de Mourzouk. A CORNET en signale [30] également dans l'erg d'Oubari à l'O. du Chati; comme dans la région des lacs, ils se trouvent dans les fonds d'ouadis.

### 3. — CARACTERES COMMUNS A TOUS CES DEPOTS

Deux caractères principaux sont communs à tous ces affleurements :

#### A. — HOMOGÉNÉITÉ DE LEUR FACIÈS.

Tous les dépôts étudiés et parcourus présentent des faciès absolument comparables d'un bout à l'autre du Fezzan. La compacité des calcaires, beiges sur une cassure fraîche, souvent gréseux, et leur allure, sont très constantes de el Hassi à Majedoul. Les divers aspects des marnes grésosableuses se retrouvent également parfaitement en tous points. Cependant les forages de 150 m. réalisés dans la Hofra, ont permis de se rendre compte que la série étudiée était essentiellement constituée par une série détritique coiffée par une formation marneuse et calcaire de quelques mètres. Ce sont ces couches qui affleurent en général dans tout le Fezzan.

Deux exceptions sont à noter :

— Il apparaît en effet que, vers Traghem, les caractères lithologiques des couches qui affleurent sont plus nettement différenciés. Ceci peut être dû à ce que, dans cette région (la plus basse en altitude de la Hofra), on peut



observer des couches qui n'affleurent nulle part ailleurs car elles sont alors recouvertes par des couches plus récentes; ou à ce qu'il exista là, momentanément, un point plus profond où une sédimentation sélective fut possible. D'où la possibilité, pour ces couches, d'être continues ou lenticulaires : nous verrons l'importance de cette question lors de l'étude hydrogéologique.

— D'autre part, il faut préciser que des formations affleurant suivant l'alignement ouadi Heutba-Hofra-Cherguya, semblent nettement correspondre à un remaniement des couches calcaires déposées antérieurement et constituées essentiellement par les calcaires gréseux gris-beige sur la cassure. Un peu partout, en effet, sur cette ligne d'affleurements, certaines couches bréchoïques apparaissent comme étant le produit du remaniement de dépôts antérieurs : de telles formations sont peu compactes, marneuses, souvent pulvérulentes et riches en cristaux de gypse, porteuses de traces de tubulures. Elles semblent résulter du brassage de calcaires antérieurs, réduits à l'état de cailloux, le plus souvent usés, et des marnes gréseuses.

Ceci est particulièrement net au débouché de l'ouadi Nescouia, dans le bassin de Mourzouk, et au delà de Souila, mais n'a pas été observé plus au N.

#### B. — CONSTANCE DE L'ALTITUDE ET LOCALISATION.

Les altitudes auxquelles ces dépôts sont observables sont, d'une façon générale, comprises entre les cotes 430 et 470<sup>1</sup>. il faut d'ailleurs remarquer qu'ils apparaissent comme étant répartis en deux zones (Pl. II) : l'une correspond aux dépressions qui limitent, au N. et à l'E. l'erg de Mourzouk et se poursuivent vers la ramla Marzuchia; l'autre correspond à l'emplacement de l'erg d'Oubari et du Zellaf et est jalonnée par les dépôts du Chati et du Bouanis qui se poursuivent au delà de Khneir. Dans ces deux bassins, séparés par le prolongement du Messak oriental qui s'avancait comme un éperon dans le Bouanis, les altitudes auxquelles ils apparaissent sont décroissantes vers le N.E. : 470 dans l'ouadi el Ajal occidental, 440 vers Khneir, 470 dans la ramla de Mourzouk et vers l'ouadi Heutba, 430 vers T'messa.

Les dépôts quaternaires de Gatroun sont beaucoup plus élevés et situés à 500-510 m.

Dans les bassins ainsi globalement délimités, les dépôts qui semblent les plus épais et les plus érodés, se trouvent dans leurs parties septentrionales (hormis le sérir el Gattousa, pour la ramla Marzuchia). Ce fait, joint

---

1. — Voir les cotes de références, p. 137.

à l'inclinaison générale vers le N.E. des glacis constitués par les calcaires beiges, gris-bleu lorsqu'ils sont patinés, trahit l'existence probable d'un mouvement général de bascule de l'ensemble, dans cette direction.

#### 4. — AGE DE CES DEPOTS

Ils doivent être antérieurs au Quaternaire et contemporains de la régression paléogène.

Semblable hypothèse, en l'absence d'indice paléontologique certain et spécifique, est fondée sur des données structurales et morphologiques : à la fin de l'Eocène, les eaux qui, auparavant, s'écoulaient par les goullets de T'messa et de Khneir, vers la mer situés plus à l'E., stagnèrent dans les deux bassins que nous avons décrits, séparés par l'éperon constitué par l'arête émergée du Messak oriental. Elles déposèrent les produits de l'érosion des terrains en relief du Crétacé supérieur, situés au N., et du Nubien.

Il est d'autre part certain que, durant les périodes humides postérieures, quaternaires, des nappes d'eaux libres éphémères ont pu réapparaître et attaquer superficiellement les dépôts précédents, voire même les raviner et amener la formation de calcaires tels que ceux de Gatroun.

C'est, croyons-nous, le processus suivant lequel les calcaires de Doujal, en particulier, sur une petite échelle, et les marnes sableuses et les calcaires de Tejerhe sur une grande échelle, se sont formés.

5. — *EN RESUME* : Il y aurait en fait, deux formations successives, et peut-être même plus, de *calcaires et marnes gréso-sableuses*.

a) *Les calcaires gréseux et marnes gréso-sableuses* initiaux, de la fin de l'Eocène, nous dirons du Paléogène supérieur. Ils se sont déposés dans un milieu lacustre, vraisemblablement très peu salé, probablement divisé en deux systèmes importants séparés par le prolongement, vers l'E., du Messak. Un climat idoine a du, par ailleurs, provoquer la concentration en surface des minéraux solubles et la constitution, au dessus du niveau statique assez voisin de la surface du sol, d'une croûte qui fut ravinée par la suite.

b) Des formations de calcaire bréchoïque ou en croûte, ou peut être même compact, correspondant à un ou plusieurs remaniements contemporains des périodes humides quaternaires. Ces formations, comme c'est le cas vers Tejerhe, peuvent être relativement épaisses.

---

## CHAPITRE III

### DESCRIPTIONS PALEONTOLOGIQUES

#### ***α) Fossile du Silurien***

**Glossina Thiryi** BARROIS, PRUVOST, DUBOIS

(Pl. xxii, fig. 1 a, b)

1920 BARROIS, PRUVOST, DUBOIS [4]<sup>1</sup>, pp. 72 et 154, pl. 17, fig. 14-15.

Moule interne dans un bloc argilo-schisteux blanc et rouge : l'empreinte ne concerne qu'une seule valve, ventrale probablement. Elle est allongée, triangulaire et semble légèrement déjetée latéralement; les bords latéraux sont droits. Au crochet qui semble, lui aussi, légèrement déjeté, il y a un angle aigu de 50° environ. Stries d'accroissement visibles, saillantes, de plus en plus espacées vers le bord.

DIMENSIONS : Long. : 3, 5; larg. : 1, 8 cm.

NIVEAU STRATIGRAPHIQUE : Ludlow supérieur à la base du Gédinien.

GISEMENT : Au km. 88 de la route Ghat-Serdelès, à l'O. (p. 26).

#### ***b) Fossiles du Dévonien***

##### BRACHIOPODES

**Liorhynchus Laura** (BILLINGS)

1860 *Rhynchonella* (?) *Laura* E. BILLINGS [13], pp. 249-282, fig. 26-28.

1894 J. HALL [71], Vol. xvii, 2° part., p. 193, pl. LIX, fig. 13 à 17.

1939 P. BORGHI [14], pp. 150-153, pl. II, fig. 10-12; pl. III, fig. 1-6.

---

1. — Toutes les références bibliographiques mentionnées concernent des ouvrages de la bibliothèque du Service Géologique de Tunisie ou des articles présentés en photo-copies sur les fiches du Centre d'Etude et de Documentation Paléontologiques du Museum National d'Histoire Naturelle de Paris. Ce Centre nous a ainsi apporté une aide très précieuse.

Multiples fragments de moules internes de valve ventrale. Ornementation nette dans le sinus (3-4 côtes), très faible (5-8 côtes) sur les ailes; zones et souvent lignes concentriques nettes. Ligne cardinale très courbée, presque anguleuse au crochet.

NIVEAU STRATIGRAPHIQUE : Hamilton Group (Dévonien supérieur).

GISEMENT : Aouinet-Ouennin (pp. 35-36).

***Spirifer fezzanensis* nov. sp. G. MATHIEU**

(Pl. XXII, fig. 2 a, b, c, d)

Moules internes de valves ventrale et dorsale.

DESCRIPTION DE L'HOLOTYPE :

Coquille semicirculaire, bordure dentelée; les valves sont peu bombées. La ligne cardinale est prolongée en pointes, donnant une allure de « bicorne » à l'ensemble. Les côtes sont strictement radiaires, débutant au crochet et le long de la ligne cardinale, souvent aiguës comme le sont les creux qu'elles délimitent. Le sinus est, au plus, d'une largeur égale au 1/3 de la largeur de la coquille; un léger bourrelet le partage en son milieu et rehausse le fond du sillon qui apparaît de la sorte peu profond. Une ornementation concentrique surimpressionne le tout : les chevrons, produits par les interférences de cette ornementation et des côtes, s'étendent plus particulièrement du milieu de la valve jusqu'à son bord palléal : vers les pointes prolongeant la zone cardinale, seule cette ornementation persiste en s'incurvant pour donner des lignes sub-parallèles à la ligne cardinale. Le plus souvent ces pointes apparaissent lisses : de véritables ailerons prolongent ainsi la coquille, de chaque côté, d'un peu plus du tiers de sa demi-longueur. L'indice de costulation est de 13/14.

PARATYPES : Aréa large; longueur et largeur maxima de 3,8 et 1,4 cm.

RAPPORTS ET DIFFÉRENCES.

Comme dans *Sp. Bouchardi*, son sinus présente un petit bourrelet dans son axe et des stries d'accroissement nettes; mais la forme de la coquille et l'indice de costulation de 7/12, 8/12, 9/12, 10/15 sont nettement différents.

Il diffère également, aux stries d'accroissement près, de *Sp. roemerianus*, par l'absence, chez ce dernier, de bourrelet dans le sinus et par la forme des ailes. *Sp. Verneuilli* a le même indice de costulation mais une forme de coquille différente et pas de bourrelet dans le sinus.



Il se rapproche nettement du seul *Spirifer mucronatus* HALL, auquel les auteurs italiens l'ont identifié [14, p. 155]. Cependant d'après les descriptions même de J. HALL [69, p. 216, pl. 34, fig. 1 à 23] et les figures qui les illustrent, il en diffère par le fait que le bourrelet dans le sinus n'est pas de règle comme il l'est dans tous les échantillons récoltés par les auteurs italiens et par nous; que l'ornementation en chevrons n'est pas la même: les côtes sont subanguleuses dans le type et nettement aiguës dans le cas des fossiles récoltés au Fezzan donnant, dans l'un et l'autre cas, des ornements comparables dans leur ensemble et cependant différentes dans leur détail; enfin, les côtes sont plus nombreuses ici que dans *Sp. mucronatus*. Ce dernier est un représentant du *Hamilton Group* et, partout où il a été rencontré, ne dépasse pas le Frasnien; or P. BORCHI et G. CHIESA le citent [15, p. 131], au S. de Serdelès, dans les dépôts qui sont reconnus maintenant comme n'étant autre que du Dinantien certain (p. 39).

Il est possible que cette espèce nouvelle corresponde à la précédente ou en soit une variété. Nous préférons cependant la différencier, même momentanément, en attendant que des observations nouvelles plus complètes, permettent de conclure. Si cette différenciation ne peut être maintenue, l'étendue stratigraphique de *Sp. mucronatus*, ou d'une variété, devrait être élargie jusqu'au sommet du Dévonien.

GISEMENT : Aouinet-Ouennin (p. 36).

#### ***Atrypa spinosa* HALL**

(Pl. XXII, fig. 3)

1867 J. HALL [69], Vol. IV, part. I, p. 322, pl. LIII A.

1929 R. DEHÉE [35], p. 28, pl. IV, fig. 7.

Moules internes de deux valves différentes; forme triangulaire, crochet aigu, sinus net sans être profond, bourrelet discret. Ornementation constituée par des côtes radiaires, diffuses vers le crochet, s'évasant ensuite, assez bien arrondies; 3 plis dans le sinus, 5 à 6 de chaque côté; traces nettes de côtes concentriques. Leur interférence avec les côtes donnent à l'ensemble un aspect granuleux net en zones concentriques.

DIMENSIONS : Long. : 1,1 — 1,3; larg. : 1 — 1,2 cm.

NIVEAU STRATIGRAPHIQUE : Dévonien supérieur, Strunien.

GISEMENT : Serdelès (p. 40).

#### ***Rhynchonella letiensis* GOSSELET**

(Pl. XXII, fig. 4)

1879 J. GOSSELET [67], p. 398.

1929 R. DEHÉE [35], pp. 29-31, pl. IV, fig. 8 à 12.

Moules internes, de valves ventrales surtout, en multiples fragments. Forme triangulaire à crochet aigu peu marqué. Ornementation nette : 3 plis dans le sinus, en général 5 plis de chaque côté, radiaires droits dans l'axe, légèrement incurvés vers les bords latéraux, le plus souvent peu aigus, diffus vers le crochet.

NIVEAU STRATIGRAPHIQUE : Famennien moyen et supérieur, Strunien.

GISEMENT : Aouinet-Ouennin (p. 36).

### **Orthotetes crenistria** PHILLIPS

1861 *Streptorhynchus crenistria* TH. DAVIDSON [33], p. 125, pl. xxiv, fig. 16; pl. xxvii, fig. 1 à 5; pl. xxx, fig. 11 à 16.

1929 *Orthotetes (Schellwienella) crenistria* R. DEHÉE [35], pp. 34-35, pl. v, fig. 6-8.

1931 C. ROSSI [111], pp. 223-224, pl. vi, fig. 3.

Moules internes d'une valve et de multiples débris présentant de nombreuses côtes fines, nettes et des côtes plus courtes, intercalaires, de longueur variée, n'atteignant pas le crochet. On distingue des zones concentriques bien marquées.

NIVEAU STRATIGRAPHIQUE : Strunien au Westphalien.

GISEMENT : Aouinet-Ouennin (p. 36).

## **c) Fossiles du Dinantien**

### **ARTHROPODES**

#### **Phillipsia gemmulifera** PHILLIPS

(Pl. xxii, fig. 5)

1836 *Asaphus gemmulifera* PHILLIPS [108].

1842 DE KONINCK [39], p. 603, pl. LII, fig. 3-4.

1883 H. WOODWARD [122], p. 17, pl. III, fig. 1-8.

Moule interne d'un fragment de pygidium dont la longueur (7 mm.) égale les 3/4 de la largeur (9,5 mm.) : les segments apparaissent nettement et sont rayonnés vers le bord postérieur. On ne peut dire de façon catégorique, étant donné une altération de l'échantillon en ce point, si le rachis pygidial se prolonge jusqu'au bord postérieur; il semble bien que non; huit segments sont discernables sur chaque plèvre; six le sont sur le rachis; ils ne le sont pas vers l'extrémité postérieure. Quelques traces de granulation subsistent, notamment sur les segments de la plèvre droite, sans qu'on puisse les imputer à la nature gréseuse de l'empreinte.

NIVEAU STRATIGRAPHIQUE : Dinantien.

GISEMENT : Aouinet-Ouennin (p. 36).

## GASTROPODES

### **Euomphalus Dionysii** (MONTFORD)

(Pl. XXII, fig. 6)

1808 *Straparolus Dionysii*, MONTFORD [101], II, pl. 74.

1842 DE KONINCK [39], p. 438, pl. XXIV, fig. 4-5 et 8.

Moules internes dans un handstuck : portions de spires disposées en cône surbaissé : angle spiral de 98°; au maximum trois tours sont visibles, la structure est nette. Le plus souvent, l'ornementation n'est pas visible. On discerne parfois des stries transverses.

NIVEAU STRATIGRAPHIQUE : Dinantien.

GISEMENT : Ouenzèrik (p. 45).

## SCAPHOPODES

### **Dentalium ornatum** DE KONINCK

(Pl. XXII, fig. 7)

1842 DE KONINCK [39], p. 348, pl. XXII, fig. 2 a, b, c.

Moule interne : cavité s'enfonçant dans un handstück; légèrement ovale. Côtes longitudinales nettes et très fines; stries d'accroissement transversales.

DIMENSIONS : 0,7 sur 0,4 cm.; profondeur : 2,2.

NIVEAU STRATIGRAPHIQUE : Viséen.

GISEMENT : Ouenzèrik (p. 45).

## LAMELLIBRANCHES

### **Cardinia utrata** GOLDFUSS

1842 DE KONINCK [39], p. 75, pl. XI, fig. 3.

Moules internes de valves plus ou moins complètes. Forme transverse nette, très peu bombée, presque plate. Le bord intérieur est légèrement déprimé. Stries d'accroissement nettes et régulières.

DIMENSIONS : 3 sur 2.

NIVEAU STRATIGRAPHIQUE : Carbonifère inférieur et moyen.

GISEMENT : Ouenzèrik (p. 45).

**Cardiomorpha elongata** DE KONINCK

1842 DE KONINCK [39], p. 102, pl. I, fig. 1 a, b, c.

Moules internes, de grande taille, de deux valves droites : l'une est allongée, assez étroite (5,5 x 3,5); l'autre est plus longue que haute (5,5 x 6). Crochets allongés, renflés, courbés. Corselet net, déprimé, allongé. Empreintes lisses, rares stries d'accroissement peu nettes. Possibilité de confusion avec *Isocardia*.

NIVEAU STRATIGRAPHIQUE : Viséen.

GISEMENT : Ouenzèrik (p. 45).

**Cardiomorpha oblonga** DE KONINCK

1842 DE KONINCK [39], p. 103, pl. II, fig. 7 a-d.

Moule interne d'une valve droite, renflée légèrement transverse; partie antérieure très bombée. Crochet massif, recourbé. Quelques stries d'accroissement sont visibles. Possibilité de confusion avec *Isocardia*.

DIMENSIONS : 5,8 — 4,5 — 4.

NIVEAU STRATIGRAPHIQUE : Viséen.

GISEMENT : Ouenzèrik (p. 45).

**Avicula dumontiana** DE KONINCK

(Pl. XXII, fig. 8)

1842 DE KONINCK [39], p. 134, pl. IV, fig. 3.

Deux moules internes : une valve gauche et un moulage complet mais usé. Forme légèrement déjetée, peu bombée, plus haute que longue. L'oreillette antérieure est petite; l'autre est au moins deux fois plus grande. Crochet petit dépassant le bord cardinal. Il ne reste rien de l'ornementation si ce n'est quelques très rares et fines stries d'accroissement.

NIVEAU STRATIGRAPHIQUE : Viséen.

GISEMENT : Ouenzèrik (p. 45).

## BRACHIOPODES

**Syringothyris cuspidatus** MARTIN

1818 *Spirifer cuspidatus*, J. SOWERBY [118], p. 42, pl. CXX, fig. 1 à 3.

1909 H. DOUVILLÉ [53], p. 147, pl. IV, fig. 1.

1939 P. BORGHI [14], p. 55, pl. II, fig. 18; pl. III, fig. 12, 14.

1939 C. ROSSI [111], p. 235, pl. VII, fig. 8, pl. VIII, fig. 1-2.



Deux fragments de moules internes. Sinus larges très ouverts vers l'avant. Crochet invisible. Ornementation constituée par des côtes simples partant du crochet et de la ligne cardinale, arrondies, nettes et légèrement plus fines et plus serrées, et alors parfois bifurquées, sur un échantillon que sur l'autre; ces stries n'existent pas dans le sinus qui est lisse sauf vers le bord palléal où apparaissent des stries concentriques zonées; celles-ci se poursuivent de part et d'autres du sinus sur un des deux échantillons. La confusion est très possible avec *Sp. Julii* DEHÉE, dans lequel cependant le sinus est pourvu de très fines côtes, et surtout avec *Sp. tornacensis* DE KONINCK, dans lequel les côtes sont parfois bifurquées, comme c'est le cas dans un des échantillons.

NIVEAU STRATIGRAPHIQUE : Dinantien.

GISEMENTS : Serdelès (p. 40) et Brak (p. 47).

***Rhynchonella carringtoniana* DAVIDSON**

(Pl. XXII, fig. 9)

1857 TH. DAVIDSON [33], v, p. 227, pl. XXIII, fig. 22; pl. LIII, fig. 1-2.

Véritable lumachelle de moules internes présentant presque tous les détails en creux du crochet : dents, fossettes, attaches des cruras, etc... La forme globale est ovale, souvent subcirculaire. Sinus et bourrelet apparaissent quelquefois : ils sont, le plus souvent, très discrets; la ligne marginale n'est, de ce fait, pas entièrement située dans un même plan. La valve ventrale est généralement plus bombée que la dorsale. La ligne cardinale fait un angle de 130° environ au crochet. Celui-ci est fin, petit, pourvu d'un foramen situé légèrement en avant. L'ornementation est constituée par des côtes radiaires partant du crochet ou de la ligne cardinale; sur les côtés, elles sont incurvées vers les bords extérieurs. Costulation 26/24.

NIVEAU STRATIGRAPHIQUE : Dinantien.

GISEMENT : Ouenzérik (p. 45).

***Sriatifera undata* (DEFrance)**

(Pl. XXII, fig. 10; pl. XXIII, fig. 1)

1842 *Productus undatus*, DEFrance, L. DE KONINCK [39], p. 156, pl. XII, fig. 2 a, b, c.  
1940 R. BORCHI [16], p. 20, pl. XIV, fig. 10-13; pl. XV, fig. 1, 5, 6, 8, 13; pl. XIV, fig. 10.

Moules internes en état de conservation très variable; souvent empreintes très diffuses et très déformées, en très grande quantité. Coquilles semi-circulaires très légèrement déjetées. Valves dorsales très légèrement bombées. Ligne cardinale droite. Crochet très petit la dépassant à peine.

Ornementation faite de fines côtes radiaires partant du crochet (5 pour 2 mm), souvent bifurquées, et de plis globalement concentriques autour du crochet : dans les empreintes argileuses, ces plis ne sont plus, ou très vaguement visibles; mais les stries gardent, de l'interférence, une allure ondulée très nette et caractéristique. Dans les empreintes en relief, ils n'existent pas, ou sont très discrets, dans la région du crochet; par contre, ils sont très nets en dehors de cette région; sur les côtés, ils sont souvent bifurqués ou interrompus et se raccordent au bord cardinal en s'incurvant vers le crochet; il arrive souvent que leur disposition ne soit pas rigoureusement circulaire mais affecte l'allure de rectangles aux angles arrondis. Ils rejoignent la ligne cardinale en faisant avec elle, intérieurement, un angle supérieur à 90°. Leur nombre visible, entre le crochet et le bord palléal, est assez variable (maximum observé 12).

Il ne peut s'agir de *Leptaena depressa* SOWERBY car dans cette espèce de forme globalement trapézoïdale, les plis, vers le bord cardinal, s'écartent du crochet et se bifurquent moins généralement. De plus, on ne discerne pas dans nos échantillons, le prolongement de la coquille vers l'extérieur qui fait avec celle-ci, un angle obtus net. Nous avons pu comparer nos échantillons avec les descriptions et figures données par L. DE KONINCK ([39], p. 215, pl. XIII bis, fig. 6 ab), et par J. HALL ([67], *Leptaena rhomboidalis* WILCKENS, p. 276, pl. VIII, fig. 17 à 35), et nous convaincre de leur indifférence.

NIVEAU STRATIGRAPHIQUE : Carbonifère.

GISEMENTS : Serdelès (p. 40) et Aouinet-Ouennin (p. 36).

#### d) Fossiles du Crétacé supérieur

##### LAMELLIBRANCHES

##### *Alectryonia ungulata* SCHLOTTHEIM

1869 H. COQUAND [28], pp. 58-60, pl. XXXI, fig. 4-15

Valve gauche arquée, étroite, s'amincissant à l'opposé du crochet. Partie supérieure de la valve plane. Côté extérieur pourvu de 12 saillies en dents de scie; côté intérieur pourvu de 9 dents plus petites.

NIVEAU STRATIGRAPHIQUE : Campanien.

GISEMENT : Entre Derj et Ghadamès (p. 58).

##### *Exogyra flabellata* GOLDFUSS

1869 *Ostrea flabellata*, H. COQUAND [28], p. 126, pl. 49, fig. 1-2; pl. 50, fig. 1; pl. 52, fig. 1-6 et 8-9.

1912 L. PERVINQUIÈRE [106], II, p. 189, pl. XIII, fig. 6 a, b, 7 a, b, 8.

Valve droite roulée. Bord postérieur caréné à grosses dents globalement divergentes, souvent bifurquées.

NIVEAU STRATIGRAPHIQUE : Cénomanién.

GISEMENT : Aouinet-Ouennin (terrain d'aviation : p. 57).

### **Pholadomya** sp.

Moule interne et fragments multiples allongés vers l'arrière. Bords cardinal et palléal parallèles. Crochet situé très en avant. Valves bombées. Stries concentriques nettes et saillantes.

GISEMENTS : Ravins d'Aouinet-Ouennin (p. 57).

## CEPHALOPODES

### **Tissotia tunisiensis** HYATT

1907 L. PERVINQUIÈRE [106], p. 369, pl. 26, fig. 1 a-b, 2 a-b, 3 a-b, 4 a-b.

Exemplaire très usé. Forme globuleuse. Section trapézoïdale. Omphalic étroit. Ornementation : quelques tubercules à partir de l'omphalic; tubercules marginaux poursuivis par des côtes sur les flancs; carène nette, entière. Portions de cloisons visibles.

DIMENSIONS : diam : 7,2; épaisseur : 2,5; omphalic, diam. : 1,5 cm.

NIVEAU STRATIGRAPHIQUE : Coniacien.

GISEMENT : 42 km. au S.E. de Derj (p. 58).

## *e) Fossiles du Quaternaire*

## GASTROPODES

### **Bullinus contortus** (MICHAUD)

1862 *Physa contorta*, MICHAUD, R. BOURGUIGNAT [19], p. 84.

1931 L. GERMAIN [64], pp. 514-516, fig. 252-253, pl. XIV, fig. 407 et 410.

Coquilles sénestres, globuleuses; ouverture ovale. Stries longitudinales peu nettes. Spire : 3 tours; sutures profondes. Haut. : 9,5 mm. Diam. : 6 mm.; rapport : 57/100.

HABITAT ACTUEL : dans les eaux pures et limpides.

GISEMENTS : Tejerhe (p. 61), erg d'Oubari (p. 62).

**Pyrgula<sup>1</sup> tuberculata** (MULLER)

(Pl. XXII, fig. 11 a, b)

1862 R. BOURGUIGNAT [19], pp. 102 et 104.

1901 P. PALLARY [105], var. p. 174, pl. III, fig. 32 et 33.

Multiples exemplaires. Coquilles dextres, allongées, turriculées, coniques (19°), translucides, blanches ou jaunâtres. Spire de 5 à 6 tours légèrement convexes. L'interférence des ornémentations primaires (stries transversales) et secondaires (stries spirales) donne à l'ensemble un aspect treillissé, voire tuberculé. Hauteur et diamètre très variables : 1,5 et 0,6 à 3,5 et 1,6 cm. Ouverture ovale à sommet anguleux. Columelle un peu réfléchie vers la base.

HABITAT : Eaux douces et de lacs.

GISEMENTS : Chati (Guira et Brak, p. 62).

## LAMELLIBRANCHES

**Cardium (Cerastoderma) edule** LINNÉ

(Pl. XXIII, fig. 6 a-b, 7 a-b)

1867 E. BUCQUOY, CH. DAUTZENBERG et G. DOLFUSS [21], II, pp. 284-297, pl. 48, fig. 1 à 10; pl. 47, fig. 1 à 17.

Lumachelles en place. Coquilles petites légèrement altérées par les agents atmosphériques, représentant probablement plusieurs variétés de *Cardium*, notamment deux : variété *Lamarcki* REEVE [21, p. 294]; les coquilles sont inéquilatérales, allongées vers le côté postérieur, arrondies vers l'avant; 24 - 26 côtes assez épaisses arrondies. Diam. antér.-post : 15 à 18 mm.; diam. ubono-ventral : 12 à 13 mm.; donc dimensions plus petites que celles du type; et variété *quadrata* B.D.D. [21, p. 295]; les coquilles sont plus petites, légèrement obliques, légèrement tronquées vers l'avant; crochets courts; 21 à 26 côtes fines souvent striées. Diam. antér.-post : 1,3 à 1,7; diam. ubono-ventral : 1 à 1,5. Les tests sont minces dans tous les cas.

Il est possible que la petite taille générale des coquilles et la minceur de leurs tests, qui les rend très fragiles, soient dues, comme le pensent certains auteurs, à la salure élevée des eaux; il est possible aussi qu'elle soit simplement due à la faible teneur du milieu en carbonate de calcium soluble.

Habitat saumâtre ou sursalé; dès le Miocène.

GISEMENT : Chati (p. 62).

---

1. — *Pyrgula* CRISTOFORI et JAN, 1832 = *Melania* auct. (fide L. GERMAIN [64], p. 658).



## CHAPITRE IV

### PETROGRAPHIE DES ROCHES SEDIMENTAIRES

Les quelques plaques minces confectionnées dans l'énorme masse des sédiments qui constituent le sous-sol du Fezzan, sont en nombre très faible ; nous sommes donc loin de pouvoir réaliser son étude détaillée.

Les roches sédimentaires du Fezzan sont essentiellement constituées par les produits de démolition des massifs avoisinants : grès et argiles, continentaux ou marins. Les sédiments calcaires sont peu importants en volume quoiqu'occupant une certaine superficie du territoire. Ce sont surtout les grès et les calcaires qui seront abordés ici ; en ce qui concerne les argiles quelques résultats seulement seront cités car les échantillons prélevés n'ont pas été en nombre suffisant pour faire une étude des « argiles du Fezzan ». A propos des calcaires d'ailleurs, il s'agit uniquement des calcaires du Paléogène supérieur : les calcaires viséens, peu abondants au Fezzan, les calcaires crétacés ou éocènes, extérieurs à ce que nous appelons la cuvette fezzanaise, ont été les uns et les autres à peine parcourus.

#### A. — Les Grès

Ce sont les matériaux qui constituent la majorité des sédiments qui ont comblé la cuvette.

##### 1. — LE MATERIEL

Les échantillons étudiés proviennent de tous les étages postérieurs au Silurien inférieur et de toutes les régions du Fezzan sauf des Messak Mellet et Settafet et des régions méridionales situées au S. de Tejerhe. Les plaques minces examinées proviennent : de grès du Gothlandien supérieur et du Dévonien de l'Akakous ; de grès dévoniens des Gargafs, d'Aouinet-Ouen-

nin et des carottes du forage de Hatya d'Edri et d'Ouenzérilk; de grès tournaisiens du Chati et des forages de Douissa et Gorda; de grès nubiens de l'ouadi el Ajal, du sondage de Ghreifa, du Bouanis, de la hamada de Mourzouk septentrionale et occidentale, de la Hofra, des sondages de Touila et Oum el Araneb, de la Cherguya, du sérir el Gattousa septentrional et méridional vers T'messa, des régions de Majedoul, Gatroun et Téjerhe; de grès du Paléogène supérieur du Zellaf septentrional, de Khneir, Oum el Abid, de la région de Fongoul et de la région située au S. de Majedoul. Soit au total, 68 préparations.

## 2. — LES OBSERVATIONS

Tous ces grès présentent de très nombreuses variétés de détails dans la forme et la répartition des grains aussi bien que dans l'allure du ciment. Mais on ne peut, sous peine de répétitions incessantes, décrire les plaques minces une à une, ou même les types de grès rencontrés dans les différentes séries stratigraphiques recoupées. Par contre, une vue d'ensemble, des remarques particulières et quelques descriptions typiques, seront successivement présentées.

Sur le plan général, l'élément calcaire est totalement absent des séries gréseuses étudiées. Les accidents calcaires tels que les tests de fossiles marins du Dévonien supérieur et du Tournaisien, ont eux-mêmes disparu à la suite d'une action décalcifiante généralisée. A noter également que les minéraux lourds sont pratiquement absents des préparations sur toutes les plaques étudiées; six seulement ont révélé la présence de zircon, grenat, biotite.

Les grès, qu'ils proviennent de carottes ou d'affleurements, présentent toutes les dispositions possibles de grains : grès à grains très fins, grès grossiers, très friables, sans ciment, quartzites, grès-quartziteux, grès à ciment silicieux, etc...

Au milieu de cette variété d'associations et de dispositions, quelques remarques particulières peuvent être faites.

a) Les *quartzites* sont rares. Nous n'en avons trouvé de nets qu'en quatre échantillons : l'un provient du sommet de la falaise nubienne qui domine l'ouadi el Ajal en face de Jerma; les trois autres de carottes, de grès dévoniens tirés des sondages de Hatya d'Edri (n° 457) et de Ouenzérilk (n° 546), aux profondeurs respectives de 108,80 et 81 m. (Pl. XXV, fig. 5). Les traces de nourissage de grains y sont très visibles.

b) Les *grès quartzites* sont abondants. Ils proviennent, pour une part, d'affleurements nubiens ou paléozoïques signalés dans les études strati-

graphiques successives et qui se trouvent au sommet de falaises ou de buttes lorsqu'apparaissent des dalles largement découvertes. Ils proviennent également de certains niveaux des forages de Hatya et d'Edri, d'Ouenzé-rik et de Gotta.

Souvent, il y a des traces de nourissage de grains. Les vides sont multiples comme le sont les taches ferrugineuses. La description suivante précisera les observations possible dans ces grès :

GRÈS BLANCS ET ROUGES du sommet d'une butte se trouvant à 3 km. au N.E. de Tejerhe (plaque 58; Pl. XXV, fig. 6) :

*Lumière naturelle* : Aspect chagriné. Limites de grains rarement visibles sauf lorsque leurs contours sont soulignés par la présence d'une tache ferrugineuse. Ces taches, noires, à reflets bruns, sont multiples.

*Lumière polarisée* : Grains de quartz de toutes formes. Deux tailles semblent cependant dominer : gros grains, souvent à extinction zonée ou roulante, à contours alvéolés; petits grains (0,008 mm.), souvent hexagonaux sans que des zones de nourissage soient visibles, et à contours alvéolés; enchevêtrement presque total. Les taches d'hydroxydes de fer sont noires et rouges; elles semblent cryptocristallines. Les inclusions ou impuretés sont partout extrêmement abondantes dans les grains globuleux comme dans les grains hexagonaux. Parfois, on discerne une zone où celles-ci sont moins denses : mais cette trace de nourissage est peu nette. Les contours hexagonaux sont bien moins fréquents que dans les quartzites.

c) Des grès dans lesquels on observe la présence de *silice hydratée* ont été rencontrés dans le Nubien et dans le Paléogène supérieur. Dans ces grès, l'opale constitue le ciment de la roche. Trois descriptions d'échantillons préciseront les caractères de ces grès.

1. — GRÈS GROSSIER se trouvant sous les calcaires paléogènes au flanc de la dénivellation qui marque la rive droite d'un oued voisin de el Bder (Cherguya) (plaque 61; Pl. XXVI, fig. 5-6) :

*Lumière naturelle* : Quartz en gros grains globuleux et en très petits grains anguleux. Les premiers sont souvent brisés, une fissure séparant les parties; leurs contours sont souvent très alvéolés. Ces contours, surtout dans le cas des petits grains, où ils sont également toujours alvéolés, sont parfois très diffus : il y a passage progressif au ciment. Celui-ci est ocre de ton variable, clair ou foncé, notamment au voisinage des taches ferrugineuses noires à reflets bruns. La présence, en son sein, de fines particules orientées, donne une impression de fluidité, de pâte s'écoulant autour des grains de quartz qui ne se touchent jamais les uns les autres.

*Lumière polarisée* : Autour des grains, parallèlement à leur bord ou épars dans le ciment qui est éteint, on peut observer des agglomérats allongés de microcristaux. Les caractères optiques : relief légèrement supérieur à celui du quartz, extinction droite, biréfringence dans les jaunes probablement du 2<sup>e</sup> ordre, allongement positif, font penser à une phyllite du groupe des micas. Les limites mêmes des grains de quartz sont souvent soulignées par la présence de ce minéral nettement biréfringent qui semble alors constituer une véritable enveloppe pelliculaire. Les dépôts ferrugineux, qui semblent être cryptocristallins, ne comportent pas de phyllite. L'opale marque une tendance assez générale à la dévitrification; observation de deux très petits sphérolites de calcédoine dont les contours sont très diffus et parfois de discrets phénomènes d'anisotropie.

2. — GRÈS BLANC NUBIEN affleurant sur le flanc d'une légère butte en contre-bas d'une falaise voisine, entre Gatroun et Tejerhe à environ 10 km. de cette localité (plaque 71).

*Lumière naturelle* : Grains de quartz très nombreux. Les grains sont de toutes tailles et de toutes formes. Les inclusions y sont extrêmement nombreuses. Les contours des grains sont diffus et alvéolés. Parfois deux ou trois grains sont en contact mais ils gardent leurs caractéristiques optiques propres. Le ciment est ocre, clair ou sombre. Il est très peu abondant et contient quelques taches ferrugineuses.

*Lumière polarisée* : Du fait de l'abondance des grains, la roche se présente comme un grès-quartzite. Mais les plages de ciment se révèlent être de l'opale ou parfois des dépôts ferrugineux amorphes ou cryptocristallins. Les contours des grains se révèlent extrêmement alvéolés.

3. — GRÈS NUBIEN affleurant sur le pied d'une butte; prélevé à 45 cm. de profondeur à la faveur d'un des trous qui existent le long de la route, entre Ghoddoua et Mourzouk, à environ 12 km. de cette localité (plaque 30) :

*Lumière naturelle* : Grains de quartz de toutes formes et de toutes dimensions. Les contours sont très sinueux et alvéolés. Les grains sont rarement hexagonaux. Parfois, même lorsqu'ils sont petits, ils sont très allongés avec de profondes alvéoles. Ils se moulent souvent les uns contre les autres, mais alors, une très fine insinuation de ciment les sépare presque toujours. Certains grains sont très contournés. Les contours des grains sont rarement nets : le passage au ciment se fait souvent suivant une zone plutôt que suivant une ligne. Le ciment, d'aspect chagriné, est teinté en ocre-clair, parfois foncé. Petites taches ferrugineuses.



*Lumière polarisée* : Les grains de quartz comportent très fréquemment des inclusions. Leurs contours apparaissent mieux sur le fond sombre du ciment. Celui-ci est constitué par de l'opale en voie de dévitrification : ceci se traduit par l'apparition d'innombrables grains anisotropes. Il comporte également une multitude de très petites particules de calcédonite et de quartz qui produit un léger miroitement. Des plages de quartz aux limites diffuses, sont visibles dans le ciment : les particules précédentes sont à leurs abords, de mieux en mieux orientées jusqu'à avoir des propriétés optiques homogènes, puis uniques dans le grain. Certaines petites plages de quartz semblent ainsi être en formation dans la masse même du ciment. Elles se révèlent en lumière polarisée, alors qu'en lumière naturelle, elles se présentent sous un aspect presque semblable à celui du ciment environnant. Les contours des grains, peu nets en lumière naturelle, se révèlent ainsi de la même façon. Il semble que la proportion d'opale amorphe soit très faible par rapport aux zones présentant des phénomènes d'anisotropie (calcédoine possible) et à celles qui sont constituées par les particules de calcédonite, et de quartz.

De semblables observations ont pu être faites sur des prélèvements effectués sur les flancs de la butte du roc de Garibaldi à Khneir, vers Oum el Abid, entre Ghoddoua et Mourzouk, au S.S.W. de Majedoul, etc.. Ils n'ont jamais été observés dans les carottes provenant des sondages étudiés.

d) *Les grès à ciment ferrugineux* peuvent se rencontrer dans le Paléozoïque et le Nubien. Les descriptions suivantes sont très générales :

1. — GRÈS NUBIEN FERRUGINEUX, ROUGE, prélevé en surface au sommet des buttes qui se trouvent à 9 km. environ au N.E. de Tejerhe (plaque 73) :

*Lumière naturelle* : Grains de quartz comportant généralement peu d'impuretés; ils sont rarement globuleux et ont toutes les formes possibles. Certains sont très allongés et sinueux (suivant des formes rencontrées dans d'autres plaques) au point de rendre douteux, dès l'abord, un dépôt mécanique; d'autant que ces grains sont chacun constitués par un cristal unique. Tous les grains présentent des contours extrêmement alvéolés; certains paraissent rongés, le ciment les pénétrant et les morcelant. Dans le ciment se trouvent de petites plages de quartz en véritables micro-dentelles enrobant des petites zones de ciment.

*Lumière polarisée* : Ciment ferrugineux, parfois noir, en auréole autour des grains, généralement cryptocristallin (rouge à jaune), probablement constitué par de la goëthite et de l'oligiste en majeure partie, et par de la limonite. Il existe sous des formes cryptocristallines en enclaves et inclusions dans les grains de quartz.

2. — GRÈS TOURNAISIEN FERRUGINEUX (épisode continental) du Chati. Prélevé en surface des affleurements qui apparaissent dans les premières dunes du Zellaf, à 10 km. environ au S. d'Ouenzèrik, dans la dépression qui sépare généralement le Chati du Zellaf (plaque 109) :

*Lumière naturelle* : Grains de quartz à deux degrés de granulométrie : gros grains abondants, globuleux, à formes « roulées » ; petits grains se présentant sous formes « roulées » également ou anguleuses, mais pouvant alors être contournées. Dans tous les cas, les contours sont très alvéolés. Dans le cas des petits grains, il s'agirait souvent plutôt de plages de quartz mal délimitées à enclaves profondes ou à inclusions de nature identique à celle du ciment. Celui-ci est généralement ferrugineux, noir ; cependant, en certains points, il est plus ou moins clair, d'indice voisin de celui du quartz.

*Lumière polarisée* : Le ciment est principalement ferrugineux et apparaît en zones noires ou en zones cryptocristallines (rouges et oranges). Les grains qu'il enrobe, ont des contours nets quoique toujours alvéolés. On discerne parfois une disposition en auréoles de couleurs différentes. Les petites plages de quartz aux contours mal délimités et dont l'extinction est peu nette, se trouvent enrobées par un ciment d'opale. Celui-ci laisse souvent apparaître une tendance à la dévitrification avec apparition, en son sein, de zones anisotropes floues.

En dehors des niveaux ferrugineux recoupés par les sondages de Brak et de Agar, aucune constatation, comparable aux précédentes, n'a été faite sur les niveaux carottés et étudiés des forages du Chati, de Ghreifa ou de la Hofra. Les études stratigraphiques ont permis de constater la localisation en superficie des niveaux ferrugineux, hormis cependant le cas du Chati.

### 3. — LES RESULTATS

Il semble qu'on peut opposer les grès opalisés ou les grès ferrugineux, aux grès quartzifiés, de la manière suivante :

#### 1° LES GRÈS OPALISÉS OU FERRUGINEUX

a) Que le ciment soit ferrugineux ou constitué par de la silice hydratée, il y a absence totale d'indice de pourrissement de grains et traces absolument générales de corrosion.

b) De semblables caractères s'observent sur des échantillons prélevés sur des pentes. Ils n'ont jamais été rencontrés en profondeur dans les ca-

rottes provenant de forages du Chati ou de Ghreifa (quelques couches légèrement ferrugineuses ont cependant été repérées dans les forages de Gotta et de Agar au Chati). On ne les rencontre plus, si ce n'est exceptionnellement (plaque 30), en superficie sur des plateaux. Ceci ne veut pas dire que tous les échantillons prélevés au pied des pentes sont des grès à ciment d'opale. Mais c'est dans cette position que les échantillons étudiés ont été rencontrés.

c) Dans ce cas, l'opale constituant le ciment de grès, comporte rarement de la silice cristallisée (quartz ou calcédoine). On peut cependant noter, plus ou moins généralement, une tendance à la dévitrification et parfois la présence de calcédoine.

d) L'existence de grès opalisés dans cette région saharienne, donne une certaine importance à un phénomène que L. CAYEUX [24, p. 240] considère comme très peu développé dans les pays où il préleva ses échantillons.

## 2° LES GRÈS QUARIZIFIÉS

a) Les contours des grains sont nets et tendent souvent vers des sections hexagonales. Les traces de nourrissage y sont fréquentes.

b) Il s'agit alors de grès provenant soit de couches se trouvant incluses dans la série stratigraphique : sondages dans le Dévonien continental (n<sup>os</sup> 546, 547), dans le Tournaisien continental (n<sup>os</sup> 526, 542, 540) et dans le Nubien (n<sup>os</sup> 523, 548, 549); soit des zones silicifiées qui correspondent à des plateaux horizontaux découverts, situés au sommet des falaises ou garras, dans les régions de hamadas. Il faut les rattacher aux quartzites d'altération superficielle, souvent mentionnées sous les latitudes tropicales ou sahariennes.

c) L'opale n'existe pas dans les échantillons correspondants (exception de la plaque 30).

Ces deux types de grès modifiés, posent aussitôt deux problèmes. Celui de l'origine de la silice, et celui du mécanisme de sa mobilisation et de sa fixation. Ces deux problèmes seront envisagés après l'étude des calcaires qui apporte des faits complémentaires

## B. — Les calcaires

L'homogénéité de faciès des dépôts de *calcaires gréseux et marnes gréso-sableuses* du Paléogène supérieur, constatée dans l'étude stratigraphique, réapparaît lorsqu'on procède à leur étude en lames minces.

## 1. — LES OBSERVATIONS

L'étude des lames minces des calcaires a porté sur 42 plaques provenant de gisements extrêmement divers, échelonnés de el Hassi au S. de Majedoul, et d'Oubari à T'messa et au delà de Khneir. On y rencontre des caractères qui se retrouvent, entre ces points extrêmes, avec une constance très soutenue. Reprendre l'étude individuelle des plaques ne présente pas d'intérêt : elle donnerait lieu à d'incessantes répétitions; nous préférons donner les résultats généraux, suivant le procédé adopté dans l'étude des grès. Les descriptions suivantes sont celles des principaux types rencontrés.

1. — CALCAIRE GRIS provenant d'un affleurement situé à 500 m. avant Oum el 'Abid, entre Fort-Leclerc et cette localité (plaque 77, Pl. XXVII, fig. 1) :

*Lumière naturelle* : Calcite compacte, gris-clair et foncé par taches. Très rarement petits grains de quartz dans les taches claires. Ces petits grains ont des contours extrêmement alvéolés et comportent parfois des inclusions de calcite. Quelques rares traces ferrugineuses.

*Lumière polarisée* : Les zones sombres ont une cristallisation beaucoup plus fine que les autres. Elles peuvent comporter des minéraux argileux. Les grains de quartz présentent généralement une extinction roulante.

2. — CALCAIRES GRIS, provenant d'affleurements horizontaux situés en contre-bas de la falaise nubienne de l'ouadi el Ajal, entre Oubari et Ghreifa, à 6 km. environ avant cette localité (plaque 85; Pl. XXVII, fig. 2) :

*Lumière naturelle* : Calcite gris-foncé et clair ou presque blanche. Les zones blanches sont largement cristallisées en géodes dont le centre est occupé par des dépôts ferrugineux ou par des vides. Très rares petits grains de quartz.

*Lumière polarisée* : Zones foncées très finement cristallisées; présence possible de minéraux argileux. Géodes multiples.

3. — CALCAIRE MARNO-GYPSEUX entre Mourzouk et Fongoul, à environ 12 km. de cette localité. Sous un calcaire conglomératique décrit plus loin : (n° 4) (plaque 41; Pl. XXVII, fig. 3) :

*Lumière naturelle* : Plages de calcite gris-clair et gris-foncé enrobant des zones blanches de gypse à inclusions de calcite. Quelques petits grains de quartz.



*Lumière polarisée* : Gypse zoné gris. Calcite microcristalline; présence possible de minéraux argileux (filonnets de phyllite du groupe mica). Les grains de quartz sont à extinctions roulantes. Un grain de zircon dans le gypse.

4. — CALCAIRE CONGLOMÉRATIQUE recouvrant le calcaire marno-gypseux précédent (plaque 40; Pl. XXVII, fig. 5, 6) :

*Lumière naturelle* : Roche microcristalline constituée par de la calcite et probablement par des minéraux argileux; l'ensemble est gris très foncé. Ça et là, coupes de tests. Présence d'enclaves gréseuses bien délimitées. Quelques taches ferrugineuses, notamment dans la calcite grenue qui tapisse les parois des rares microgéodes. Dans une enclave gréseuse, les grains sont sans forme et sans dimensions prédominantes; leurs contours sont extrêmement alvéolés, très souvent diffus; parfois une partie de ces contours est alors soulignée par une ligne plus claire de relief difficilement discernable.

*Lumière polarisée* : La roche demeure très sombre, souvent cryptocristalline. L'enclave gréseuse a un ciment de calcite bien cristallisée. Les grains ont leurs limites soulignées par un alignement de fibres de phyllites micacées. Quelquefois celles-ci sont englobées dans une mince auréole d'opale : cette dernière possède alors des caractères anisotropes de plus en plus nets et homogènes et passe progressivement au quartz. On rencontre, entre les grains, des plages d'opale de dimensions variées souvent en voie de dévitrification; elles comportent alors des fibres de calcédonite en sphérolites incomplets. Des petites plages, perdues dans le ciment de calcite, sont uniquement constituées par de l'opale totalement amorphe.

5. — CALCAIRE GRÉSEUX prélevé sur une petite butte au S. de l'ouadi Khneir (plaque 78; Pl. XXVII, fig. 4) :

*Lumière naturelle* : Plaque non homogène; souvent les grains de quartz sont très gros et très serrés; ailleurs, le calcaire est dépourvu de quartz. Dans l'ensemble, deux degrés nets de granulométrie : gros grains globuleux, petits grains le plus souvent anguleux, fréquemment allongés et très contournés. Dans les deux cas, les bordures des grains sont très alvéolées et très souvent peu précises. Le ciment est uniformément gris-sombre; par endroits, quelques plages grises de calcite plus nettement cristallisée.

*Lumière polarisée* : Quelques grains présentent des auréoles de calcite microcristalline, différemment teintées. Les grains de quartz, très contournés, comportent de profondes insinuations de calcite bien cristallisée et de petites enclaves de même nature. Presque tous les grains, et surtout les

petits aux formes allongées, ont des contours extrêmement découpés et souvent diffus avec passage au ciment par une zone sombre. Le ciment est constitué par de la calcite sombre, microcristalline, comportant probablement des minéraux argileux. Au contact des grains, ou en plages dans le ciment même, ou encore à la faveur des microgéodes, la calcite est souvent très bien et largement cristallisée.

6. — CALCAIRE GRÉSEUX DUR prélevé à Khneir dans un banc interstratifié dans la série paléogène supérieure. Affleurant en ce point (plaques 97 et 97 bis; Pl. XXVIII, fig. 1, 2) :

*Lumière naturelle* : Calcaire comportant des grains de quartz de toutes tailles et de toutes formes. Certains grains, en général les plus gros, ont leurs contours nets, bien soulignés par une ligne plus claire. D'autres, surtout dans le cas des petits, ont des contours flous constitués par une zone d'aspect chagriné, passant elle-même au ciment; cette zone est constituée par de l'opale d'indice à peine plus faible que celui du quartz. Dans un autre cas enfin, il s'agit d'enclaves d'opale sinueuses, ramifiées, souvent plus étendues que les plus gros grains; elles peuvent comporter des plages de quartz et des phyllites éparses ou orientées parallèlement. Très rares taches ferrugineuses. Le ciment est relativement homogène. Autour de certains grains, on discerne des auréoles de coloration légèrement différente.

*Lumière polarisée* : Enclaves d'opale de toutes tailles extrêmement abondantes. Le ciment microcristallin est d'un aspect très homogène. Les grains de quartz, dont beaucoup comportent des inclusions de calcite, sont nettement auréolés par une enveloppe phylliteuse dont les propriétés ont déjà été décrites, et par une enveloppe d'opale d'épaisseur variable souvent égale au diamètre moyen du grain. Très généralement, l'opale présente une tendance à la dévitrification : phénomènes d'anisotropie visibles et présence de courtes baguettes de calcédoine (extinction droite nette) orientées en toutes directions. Dans les plages d'opale, les mêmes caractères se retrouvent : phyllites, courtes baguettes, calcédonite, enclaves de calcite; mais il arrive qu'une petite zone de cette plage soit constituée par du quartz à inclusion de calcite, et à limites floues durant les extinctions. Certaines plages d'opale, aux insinuations et ramifications multiples, sont éteintes avec ou sans phyllites. D'autres comportent parfois des fibres parallèles de calcédonite. D'une façon générale, l'opale semble avoir imprégné le ciment de calcite tant elle est diffuse dans celui-ci.

7. — CALCAIRE GRÉSEUX à 6 km. au N.O. de Majedoul; affleurement étendu dans la large et faible dépression située entre la ramla Marzuchia et la falaise nubienne qui domine le village cité (plaque 44; Pl. XXVIII, fig. 3) :

*Lumière naturelle* : Grains de quartz de toutes formes à contours alvéolés mais nets. Ils sont entourés de larges auréoles de calcite bien et largement cristallisée avec ses indices ordinaires et extraordinaires situés de part et d'autre de celui du baume. Des auréoles très épaisses existent même autour des plus petites éclats de quartz. Certaines plages de calcite de cet aspect ne comportent pas de quartz au centre. Les grains de quartz (qui ne sont jamais au contact les uns des autres) et leurs auréoles, sont enrobées dans un ciment gris-sombre, micro-cristallin de calcite et probablement de minéraux argileux. Les taches ferrugineuses sont exceptionnelles.

*Lumière polarisée* : La calcite bien cristallisée des auréoles tranche nettement, avec ses teintes et ses blancs d'ordre supérieur, sur le ciment qui demeure sombre et dont les éléments restent indiscernables en immersion. Le ciment de calcite s'avance en alvéoles sinueuses dans les petites plages de quartz. Dans certaines plages de calcite bien cristallisée, le quartz apparaît noyé, sensiblement au centre, sous forme d'un vague squelette réduit au minimum.

8. — CALCAIRE GRÉSEUX affleurant à la faveur d'un petit lit d'oued entre Ghoddoua et Mourzouk à 5 km. environ de cette localité (plaque 28; Pl. XXVIII, fig. 5) :

*Lumière naturelle* : Grains de quartz de toutes formes; contours souvent très alvéolés. Ils comportent généralement plusieurs auréoles de calcite différemment cristallisées, ce qui leur donne des teintes variables; il est possible que cette différence soit soulignée par une imprégnation de dépôts ferrugineux. Le ciment n'est pas homogène : il est tantôt largement cristallisé et de couleur très claire (ce qui souligne les auréoles généralement plus sombres); tantôt sombre de même aspect que les auréoles correspondantes (ce qui souligne les parties claires de celles-ci).

9. — Dans des CALCAIRES ou CALCAIRES GRÉSEUX prélevés à el Hassi (plaque 82 bis; Pl. XXIX, fig. 1, 2), 5 km. au N. de Mourzouk (plaques 32 et 32 bis; pl. XXIX, fig. 3, 4), 40 km au S.S.O. de Majedoul (plaque 49; Pl. XXIX, fig. 5) et à 12 km. de Fongoul (plaque 40; Pl. XXIX, fig. 6), des traces de tests ont été relevées. Il s'agit de coupes de coquilles parfois complètes (Ostracodes, Brachiopodes ?), de rares bâtonnets (Spicules ?) et des graines de *Chara*. Aucune d'elles n'est déterminable.

## 2. — LES RESULTATS

D'une façon générale, les calcaires sont toujours gréseux : les grains de quartz qu'ils contiennent, sont altérés sans que le ciment semble avoir

été atteint sauf à Khneir et dans la hamada de Mourzouk orientale où, tout au contraire, les parties calcaires apparaissent altérées et silicifiées avec dépôts d'opale en voie de dévitrification et de calcédoine. L'opale est ordinairement chargée de phyllites micacées.

### 3. — CONCLUSIONS DES ETUDES DES GRÈS ET DES CALCAIRES

#### 1° RÉSUMÉ DES FAITS

a) Présence de grès quartzifiés dont la principale caractéristique est de présenter des traces de nourrissage de grains. Ces grès se trouvent dans les zones horizontales du sommet des plateaux.

b) Existence en surface des plateaux, de grès ferrugineux nets tels que les forages n'en ont jamais rencontrés.

c) Présence de grès et de calcaires à opale provenant de la région basse qui s'étend au pied de ces plateaux. L'opale contient généralement un minéral phylliteux. Celui-ci est réparti régulièrement en son sein quand elle auréole des grains de quartz; par contre, il est épars lorsqu'elle constitue le ciment. Les grains de quartz contenus dans les roches mentionnées sont toujours très corrodés.

d) A côté des calcaires à grains auréolés d'opale, présence de calcaires dont les grains de quartz corrodés sont auréolés de calcite.

e) On trouve un exemple illustrant bien ces faits entre Khneir et Oum el Abid, et dans la Cherguya, vers el Bder (fig. 10). On se trouve là à la limite

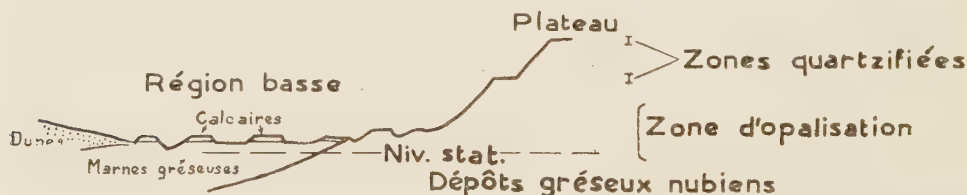


FIG. 10. — ZONES DANS LESQUELLES LA SILICE SECONDAIRE APPARAÎT PRÉFÉRENTIELLEMENT SOUS FORME D'OPALE OU DE QUARTZ.

d'un plateau qui domine un avant-pays très faiblement vallonné : la région basse. Les grès formant la falaise ne sont pas transformés. Sur le plateau, se présentent des grès quartzifiés. Au pied de la falaise, se rencontrent les grès opalisés. C'est à un niveau topographique comparable qu'à 800 m. de là, dans un cas, et à une distance supérieure dans le second, se trouvent les calcaires opalisés.



## 2° PHÉNOMÈNE DE QUARTZIFICATION

Ce phénomène est observable dans les couches qui constituent les zones tabulaires des sommets de plateaux ou de hamadas. Il est superficiel et modifie la roche subordonnée sur une épaisseur d'autant plus importante qu'elle est plus perméable. Il s'agit pratiquement d'un phénomène pédologique provenant d'une altération superficielle. A noter à ce propos, que nous considérons les niveaux de quartzite ou grès quartzifiés des forages, comme étant des surfaces topographiques fossiles. On ne peut en effet expliquer autrement la silicification préférentielle d'une couche plutôt que d'une autre au sein d'une série stratigraphique continentale. KIKOÏNE et RADIER, après bien d'autres auteurs, ont témoigné de la grande extension de ces altérations au Soudan [68]. Leurs observations leur ont permis de conclure que la compréhension du mécanisme de la quartzification, ne pouvait se faire qu'à partir de l'étude de la roche intacte sous-jacente.

Quel peut être ce mécanisme ? Les questions qui se posent sont nombreuses : il faut en effet une origine à la silice, un milieu qui se prête à son transport et des conditions favorables au nourrissage des grains sous forme de quartz.

A ce propos, un facteur important doit entrer en jeu : c'est celui des variations de climat. En effet, cette région a été soumise à des alternances de périodes humides et sèches d'ampleurs variées. Il faut considérer qu'à la succession des périodes humides et sèches du Quaternaire, s'ajoute une succession saisonnière (pluies abondantes et soudaines suivies de longs mois de sécheresse) et une succession quotidienne (imprégnation d'eau de condensation ou eau occulte). Ces alternances ont eu pour effet des variations constantes de *pH* : ainsi par exemple l'eau de rosée, due à la condensation, a un *pH* qui, sur des sables, peut aller de 5,5 à 8,4 en un temps variant entre une et quelques dizaines de minutes.

Ces imprégnations périodiques, saisonnières ou quotidiennes, d'importance d'ailleurs variées, peuvent-elles permettre un mécanisme du genre suivant ?

*1<sup>er</sup> temps* : Percolation d'eaux acides qui se chargent en bases. Devenues basiques, ces eaux pourraient dissoudre de la silice. Cette percolation est généralement peu profonde et ne dépasse pas le mètre en moyenne (p. 283).

*2<sup>e</sup> temps* : Evaporation. Migration des solutions vers le haut. Entraînement de la silice dissoute. Concentration progressive des solutions. Cristallisation de la silice qui nourrit les grains.

Peu à peu, la surface se colmaterait avec blocage du phénomène.

L'étude d'une série d'échantillons pris systématiquement de décimètres en décimètres dans un puits creusé à cet effet sur le plateau, ajoutée à l'étude des variations de *pH* au sein même de la roche sous la partie supérieure du plateau, donneraient sans doute des renseignements sur la validité d'un pareil schéma.

### 3° PHÉNOMÈNE D'OPALISATION

Ce phénomène, ainsi que le prouve les quelques prélèvements effectués, est également superficiel et semble limité aux grès ou calcaires gréseux de la « région basse » doucement vallonnée.

Dans ce cas, l'origine de la silice peut, semble-t-il, être précisée. L'origine organique fréquemment imaginée [24, 36], est peu vraisemblable. En effet, des traces d'organismes n'ont été trouvées, au Fezzan, qu'en quelques affleurements d'ailleurs calcaires. A l'opposé, l'origine minérale par voie chimique [91, p. 83] est vraisemblable puisque tous les grains de quartz sont alvéolés, lobés, donc altérés et corrodés.

A plusieurs reprises, le mécanisme suivant a pu se produire : les solutions contenant la silice dissoute ont été concentrées et les phénomènes de précipitations, dus à la sursaturation, se sont produits. La silice s'est alors déposée sous forme d'opale dans les calcaires ou les grès, soit en auréolant les grains de quartz, soit en constituant un ciment. Des phyllites micacées se trouvent associées à l'opale, leur taille et leur répartition excluant une origine détritique.

Il s'agit donc d'une véritable néoformation d'opale et de phyllite sans qu'il soit sûr que ces deux phénomènes soient contemporains. Ce que l'on sait de la genèse des minéraux phylliteux micacés [99] sous nos climats, évoque des solutions basiques. Il en est généralement de même pour l'opale quoique le rapprochement avec le gel déplacé par un acide agissant sur des silicates, ait été fait [24]. Les telles solutions basiques ont été évoquées par M. AUZEL et A. CAILLEUX [2] dans le cas de silicifications sahariennes qui aboutissent d'ailleurs à la calcédoine.

Le rôle du climat saharien est certainement important. Les alternances de sécheresse et d'humidité sont évidemment les mêmes que dans le cas précédent. Cependant dans la région basse où l'opalisation a été observée, les infiltrations d'eau sont moins importantes qu'en terrain horizontal car la topographie est vallonnée. L'imprégnation des roches est plus superficielle et résulte essentiellement des forces de capillarité. Par ailleurs, une nappe d'eau qui existe dans les grès nubiens imprègne aussi ces formations de marnes gréseuses et de calcaires. Durant les périodes humides, des eaux ont pu recouvrir tout ou partie de cette région basse; ces

variations sensibles du niveau du plan d'eau, ont rendu possible des saturations et des précipitations de silice. Dans le jeu des « exondations » à partir du niveau aquifère et dans celui des imprégnations le long des pentes, des migrations de substance peuvent se produire et aboutir aux néoformations dont on cherche ici la raison.

On peut noter que A. VATAN [119], dans l'étude de la silicification des dalles du Sparnacien (partie supérieure des argiles à silex) et des dalles subordonnées au Sidérolithique rouge, évoque l'aspiration colloïdale de solutions chargées en silice sous un climat alterné.

L'opalisation des calcaires paléogènes est assez facile à concevoir le long de telles propositions. Des variations de détail dans ces solutions basiques, mèneraient, dans ces calcaires, aux auréoles de calcite ou aux auréoles d'opale autour des grains de quartz.

Plus délicat est le cas de grès opalisés. Ils contiennent assez peu de bases pour donner les solutions alcalines nécessaires à la solubilisation de la silice et à une sursaturation. Mais on peut songer, dans les grès comme dans les calcaires, à des migrations de solutions alcalines du bas vers le haut à partir de la nappe, migrations qui seraient à l'origine de la mobilisation de la silice.

Qu'il s'agisse de *quartzification* ou d'*opalisation*, le rôle du climat alterné paraît très important. Les périodes humides provoquent des circulations et règlent le niveau des nappes phréatiques; les périodes sèches provoquent des migrations de solutions et leur concentration. La nécessité de passer par solutions alcalines pour la dissolution de la silice est en accord avec les idées et connaissances actuelles acquises sur ce sujet; de même la néoformation d'opale et de phyllites micacées dans les calcaires, en milieu basique, est vraisemblable.

Par contre, la chimie de la silice en solution est encore trop mal connue pour comprendre pourquoi, dans les grès, les néoformations optent tantôt pour le quartz, tantôt pour l'opale. Si on admet que normalement la succession, lors de la cristallisation, est : opale, calcédoine, quartz, il faut également admettre que dans le cas de la quartzification, cette succession est rapide (plaque 30) alors que dans celui de l'opalisation, un facteur intervient qui, par rapport au cas précédent, la retarde considérablement ou l'arrête. Or G. DEICHA a souligné [37] combien l'accroissement de la sursaturation causait de perturbations dans l'ordre des cristallisations. Il est donc possible que la différence d'évolution réside dans la sursaturation en silice des solutions qui ont imprégné les formations opalisées, ceci en opposition avec ce qui doit se passer dans les formations superficielles quartzifiées. Il résulterait de ceci que le dernier cas verrait intervenir un proces-

sus pédologique en milieu acide dans son ensemble et basique superficiellement; le premier cas se produirait, par contre, toutes les fois qu'une forte saturation a été rendue possible, la silice ayant une origine chimique par altération du quartz au sein même du dépôt. Celui-ci serait basique dans son ensemble.

On peut en somme en arriver à conclure que, en pays arides du moins :

1° Il y a silicification avec formation de silice stable (quartz) lorsque le milieu ne se prête pas à une sursaturation des solutions d'imprégnation en silice : cas d'un milieu pauvre en cations. Ceci implique un phénomène superficiel dans une zone hors de portée d'une nappe d'eau à partir de laquelle, lors de ses fluctuations de niveau, des migrations de cations seraient rendues possibles.

2° Il y a silicification avec dépôt de silice hydratée (opale) et transformation lente en calcédoine puis en quartz, lorsque le milieu se prête à une nette sursaturation des solutions d'imprégnation en silice : cas d'un milieu riche en cations (ou vers lequel des migrations sont rendues possibles).

### C. — Les argiles

En dehors de trois études d'argiles citées à propos des *feich-feich* (p. 67), quatre autres ont été effectuées sur des argiles d'âges différents. Elles ont été faites suivant la méthode<sup>1</sup> d'étude de G. MILLOT [91].

#### 1. — ARGILES GOTHLANDIENNES DU TANEZZOUFF

Le prélèvement a été effectué, après une profonde fouille latérale dans une *cuesta*, à 36 km. de Serdelès. L'échantillon est une argile schisteuse, gris-vert et rouge-violacé, se délitant irrégulièrement (bien dans les parties gris-vert).

L'analyse chimique de la roche (Tableau 14) dénote l'absence de carbonate de calcium.

La fraction argileuse montre une répartition égale entre l'illite et la kaolinite avec tendance à la dominance de la kaolinite. Une telle répartition se rencontre en divers milieux mais est particulièrement commune dans les

1. — Le prélèvement subit diverses préparations destinées à en extraire la phase argileuse. Celle-ci est ensuite *dispersée* puis *sédimentée* pour être fractionnée. Les prélèvements se font au bout de temps définis, pour recueillir, en cours de sédimentation, des particules de taille optimale en vue de l'analyse aux rayons X. Le spectre est obtenu par diffraction sur une plaquette d'argile oscillant dans le faisceau des rayons X. Les lignes de diffraction sont caractéristiques des différents minéraux argileux.



vases marines. Cette analyse confirme donc l'origine marine profonde révélée par la stratigraphie.

## 2. — ARGILES TOURNAISIENNES CONTINENTALES DU CHATI

L'échantillon étudié provient des couches argileuses blanches et grises du sommet de l'épisode continental; il a été récolté à 300 m. à l'O. de bir Gualmara, dans une coupe fraîche, profonde de 1 m.

La fraction argileuse, très importante, contient 90 % environ de kaolinite; le reliquat était formé d'illite. Les carbonates font totalement défaut. Une telle association suggère une sédimentation sous lessivage faible dans un milieu très acide ou sous lessivage intense par des eaux faiblement acides. On rencontre communément ces conditions dans les séries continentales de piedmont où les dépôts sont en général largement lenticulaires.

La décalcification absolument générale des terrains et des fossiles (moules internes), vient confirmer le caractère largement lessivé des formations tournaisiennes.

## 3. — ARGILES NUBIENNES DE L'OUADI EL AJAL

L'échantillon provient d'un banc d'argile gris-sombre d'où fut tirée, au début, l'argile nécessaire à la confection de la boue d'injection du forage réalisé à Ghreifa. Il se trouve au pied de la falaise qui domine l'ouadi, à 7 km. environ au S.O. de la localité citée. La masse se désagrégeait très mal, même après une longue trituration, voire une ébullition. Ce gisement d'argile fut, de ce fait, abandonné.

La fraction argileuse, assez importante, donna des plaques de mauvaise qualité, en sorte que les spectres X furent mal orientés : néanmoins la kaolinite semble dominer nettement l'illite.

Les analyses chimiques mettent en relief l'existence de 7,85 % de sels solubles ainsi répartis (p. 213) :

| HUMIDITÉ | PERTE<br>au feu | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | SO <sub>3</sub> | ClNa | MgO    | TOTAL  |
|----------|-----------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----------------|------|--------|--------|
| 2,10     | 11,75           | 69,93            | 3,80                           | 3,20                           | 3,41 | 2,47            | 4,03 | traces | 100,69 |

| Ions | SO <sub>4</sub> | Cl   | CO <sub>3</sub> | Ca   | Na   | TOTAL |
|------|-----------------|------|-----------------|------|------|-------|
|      | 2,46            | 2,31 | 0,30            | 1,06 | 1,72 | 7,85  |

Le calcaire existe en faible quantité.

Ces résultats sont insuffisants pour avoir une idée des conditions de sédimentation qui existaient au moment du dépôt : l'excès net de kaolinite fait penser au style de lessivage déjà évoqué lors de l'étude de l'échantillon précédent. L'existence de sels solubles peut provenir de la proximité des dépôts calcaires du paléogène supérieur et de la relative proximité du niveau hydrostatique. Une étude spéciale, portant sur un plus grand nombre de lentilles argileuses, est donc nécessaire pour pouvoir avoir une idée précise et valable des conditions de sédimentation du matériel nubien.

TABLEAU 14  
Analyses chimiques d'argiles

| ORIGINE          | AGE                                  | INSOLU-<br>BLES<br>% | Ca O<br>% | Mg O<br>% | CO <sup>2</sup><br>% |
|------------------|--------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|----------------------|
| Tanezzouft...    | Gothlandien marin :                  |                      |           |           |                      |
|                  | rouge.....                           | 1,22                 | 1,9       | 0         | 0                    |
|                  | gris-vert.....                       | 1,55                 | 1,5       | 0         | 0                    |
| Chati.....       | Tournaisien (continental)...         | 6,8                  | 0,9       | 0         | 0                    |
| Ouadi el Ajal... | Nubien (continental).....            | 18,20                | 4,9       | 0         | 3,27                 |
| Traghem.....     | Paléogène supérieur (lagunaire)..... | 67,2                 | 0,7       | 0         | 0                    |

#### 4. — ARGILES DU PALEOGENE SUPERIEUR DE TRAGHEM

Cet échantillon provient des lits d'argiles vertes qui affleurent sous des sables gréseux gris-vert, tout autour du village, vers le S. Les uns et les autres sont utilisés par les indigènes pour l'édification et le revêtement de leurs maisons.

La fraction argileuse est presque uniquement constituée par de l'illite. Les carbonates sont absents.

Ceci suggère un milieu à réaction basique, à renouvellement faible des eaux très probablement lagunaires, peut-être sursalées, riches en cations.

Le résultat de cette analyse confirme le régime lagunaire évoqué pour cette formation dans les études stratigraphiques.

#### D. — Les dépôts meubles

Dans ce chapitre sont groupées les études des sables et des *feich-feich* qui seront abordées sous les trois aspects suivants : morphologie des grains, étude granulométrique, étude des minéraux lourds.

## 1. — MORPHOLOGIE DES GRAINS DE SABLES

Cette étude a porté sur un certain nombre d'échantillons, choisis parmi ceux que nous avons rapportés pour avoir été prélevés en des gisements typiques :

Sables des dunes et de *ramla*.

Sables d'oueds pris à la profondeur de 0 m. 50 pour éviter les mélanges avec les apports éoliens.

Sables de formations lagunaires : marnes gréso-sableuses du Paléogène supérieur ou sables à peine consolidés du Quaternaire.

### 1. — PRÉPARATION

Les prélèvements ont été préparés de la façon suivante :

a) *Observation du tout-venant à la loupe binoculaire* pour reconnaître couleurs, formes, aspects généraux, juxtaposition, adhérence des fines particules.

b) *Tamissage*. — On obtient ainsi des grains groupés en quatre tranches suivant leurs dimensions : la première est inférieure à 0,246 mm. et supérieure à 0,149 mm., la deuxième est supérieure à 0,149 mm., la troisième est supérieure à 0,088 mm. et la quatrième inférieure à cette dimension. Ces valeurs correspondent aux ouvertures entre mailles des tamis 60, 80, 100 et 170 (p. 113).

c) *Elimination des carbonates et sels divers* par 1/4 d'heure d'ébullition de chacune des quatre préparations, obtenues à partir de chaque échantillon, en solution chlorhydrique. On note les couleurs des préparations après passage à l'étuve.

d) *Observation au microscope* du sable de chaque fraction semée sur une plaque de verre pour pouvoir noter la forme, l'allure, l'état des grains leurs reflets..., et pour pouvoir photographier.

### 2. — ETUDES

Celles-ci ont porté tour-à-tour sur les trois principaux groupes d'après leurs origines.

a) *Sables éoliens des dunes*. — D'après les échantillons provenant des dunes de Ouen-Arab, Tademka, Gatroun, du centre du Zellaf et de la ramla Marzuchia (Pl. XXX, fig. 1 à 4).

Non lavés, les grains sont presque tous jaune-ocre (les petits sont blancs) et très généralement opaques. Aux grains les plus gros adhèrent très fréquemment, de très fines particules de quartz.

Les carbonates sont absents.

Lavés, tous les grains apparaissent blancs (de très rares demeurent jaunes).

Les grains 80 (tamis 80) apparaissent sous toutes les formes, souvent globuleux, parfois en lamelles; les angles sont toujours très usés, donnant une allure très évoluée à l'ensemble. Les plus gros grains sont taraudés et guillochés. Presque tous sont translucides et polis. Des grains, assez rares d'ailleurs, sont de véritables globules dépolis. Ceux-ci sont un peu plus nombreux en restant loin de constituer la majorité dans les grains retenus par le tamis 60.

Parmi les grains de taille inférieure on remarque des « éclats gras » propres aux reflets du quartz, de plus en plus nombreux au fur et à mesure que le diamètre moyen décroît; dans les diamètres inférieurs à 170, les grains, toujours anguleux, peu ou pas usés, apparaissent, suivant leur orientation, translucides et polis, ou donnent des éclats gras multiples.

b) *Sables d'oueds*. — D'après les prélèvements de l'oued el Bder, de l'oued Guira et d'un grand oued sans nom des Gargafs occidentaux (oued Garat ?, à mi-chemin entre Edri et Aouinet-Ouennin) (Pl. XXX, fig. 5 à 8).

Non lavés, les grains apparaissent tous jaunes, brun clair, même lorsque les grains les plus petits (de diamètre inférieur ou égal à 170) sont en amas.

Les carbonates sont absents.

Lavés, tous les grains sont blancs sauf quelques-uns, parmi les plus petits, où subsistent quelques teintes jaunes.

Les grains 80 présentent des individus de formes rarement globuleuses mais cependant assez massives, avec des aspérités; le plus souvent, les angles sont frais ou à peine usés; les grains ont des surfaces polies ou taraudées ou encore tailladées, donnant alors des reflets gras. Les éléments limoniteux sont nombreux et de formes indéfinies souvent curieuses comme si plusieurs grains s'étaient soudés, donnant des *angles rentrants* nombreux.

Dans les grains 100, les formes massives et — a fortiori — globuleuses, ne se rencontrent pas. Les grains, tous subanguleux ou anguleux, ont des aspérités. Les reflets gras sont fréquents et le sont bien davantage dans les petites tailles où nous avons la notion assez nette d'éclats.

c) *Sables lacustres*. — D'après les prélèvements dans les marnes sableuses du Paléogène supérieur de el Hassi, du Zellaf septentrional, de Fongoul, de Traghem, de Gatroun et de Tejerhe (Pl. XXX, fig. 9 à 12).



Non lavés, les grains sont blancs, translucides mais les agglomérats sont très nombreux, même parmi les grains de gros diamètres. La proportion de très fines particules (fraction argileuse ou micro-grains de quartz) est importante : elles sont collées aux grains qui constituent des amas très volumineux. Le gypse est souvent très abondant en cristaux agglomérés.

Les carbonates existent en quantité peu importante, sauf vers le Zellaf septentrional et vers Gatroun où leurs proportions sont voisines de 10 % et 20 %<sup>1</sup>.

Lavés, les grains 80 présentent des formes presque toujours subanguleuses à contours doux quelquefois ou à arêtes nettes. Leurs surfaces sont pratiquement toujours polies; quelques rares grains apparaissent taraudés : on remarque quelques reflets gras de surfaces neuves. Le gypse demeure abondant et se présente sous forme de *roses des sables* microscopiques, blanches et imparfaites.

Les grains 100 sont subanguleux ou anguleux, quelques uns sont globuleux. Beaucoup sont polis; les reflets gras sont multiples.

Les grains 170 ne donnent pas aussi bien la notion d'éclats que les grains inférieurs à 170 : il s'agit encore de grains subanguleux polis parmi lesquels les éclats à reflets gras sont nombreux.

Les grains inférieurs à 170 donnent un véritable miroitement de reflets gras aussi intenses que nous l'aurions eu dans les sables d'oueds si les éléments limoniteux avaient été alors moins nombreux.

d) *Sables des feich-feich*. — D'après les prélèvements dans les dépôts de l'oued Tanezzouft, du Zellaf septentrional, de Gatroun, de Tejerhe et du sérir el Gattousa.

Non lavés, les grains sont jaunes, agglomérés; des particules très fines, siliceuses ou argileuses, adhèrent sur les gros grains et se trouvent en amas très fréquents et importants.

Les carbonates sont souvent abondants (Zellaf, sérir el Gattousa, Tejerhe) : 20 % dans le tout venant (sables + fines; cf. p. 67).

Lavés, les grains jaunes sont encore abondants; les blancs sont les plus nombreux.

Les grains 80 sont globuleux et subanguleux, sans arêtes fraîches; ils sont le plus souvent polis; leurs surfaces sont taraudées, guillochées, mais présentent, quelquefois, des aspérités.

---

1. — Calcul approximatif par pesées avant et après réaction prolongée d'une solution d'acide chlorhydrique : un petit appareil de verre à deux récipients superposés est nécessaire. La différence des pesées donne le CO<sub>2</sub> éliminé.

Les grains plus petits sont essentiellement anguleux et à reflets gras, d'autant plus fréquents que la taille moyenne des grains diminue.

Au total, leurs aspects sont ceux de grains moins évolués que ceux des sables éoliens mais beaucoup plus que ceux des oueds.

### 3. — RÉSULTATS

Les différences de caractères, entre tous les prélèvements étudiés, ne sont pas toujours suffisamment nettes pour nous permettre de nous en servir en vue de définir les catégories dans lesquelles nous avons rangé les sables.

Comme L. CAYEUX a été amené à le conclure pour la plupart des sables sahariens ou lybiques qu'il étudia [24], on doit admettre que la majorité de nos sables a des caractères éoliens et lacustres qui voisinent : d'où au total, une différence peu nette entre les échantillons qui, par définition, ont une origine éolienne, fluviale (oueds), ou lacustre ; cette différence apparaît encore moins lorsqu'on compare aux sables précédents, les échantillons de *feich-feich* : c'est la raison pour laquelle nous n'en avons pas donné de photographies.

Seuls les sables d'oueds présentent quelques caractères de rénovation assez remarquables : éclats gras, angles assez nets, grains cassés, mêlés à des grains massifs, polis, remaniés après une première évolution.

Et c'est là qu'on peut saisir la complexité du problème. Dans la comparaison des sables d'origine variée, la nature des formations d'origine importe beaucoup. En effet, les dépôts étudiés n'ont pas toujours subi une préparation suffisamment longue pour que les caractères originaux disparaissent et que l'influence du dernier milieu subsiste seule.

Ainsi, dans le cas d'un oued actuel (régime saharien) du Chati, les sables d'origines diverses : marins, continentaux (paléozoïques), lacustres (paléogènes) et même éoliens (dépôts de surface), seront acheminés vers les points bas avec des vitesses variables. D'autres sédiments, argiles, boues et galets, viendront se mêler aux sables en les rénovant (cassures : d'où angles et reflets) plus ou moins selon l'intensité des courants. Mais nous aurons alors un sable où les caractères fluviaux ou fluvio-lacustres voisineront avec les caractères originaux, marins ou éoliens.

Quoiqu'il en soit, la discussion ne peut porter que sur des grains de taille moyenne optimale : trop gros, ils sont en effet transportés par roulement sur le fond ; trop petits, ils restent en suspension et sont flottés selon les indications de L. GLANGEAUD [50, 61]. Les particules qui semblent le mieux permettre une distinction d'origine, sont celles qui ont un diamètre

compris entre 0,25 et 0,149 mm. (passant le tamis 60, retenues par le tamis 100).

La morphologie des grains des différents dépôts du Fezzan apparaît donc comme faussée au départ par la diversité des origines<sup>1</sup> et le mélange ou la superposition des caractères successifs. Un transport énergique par oueds ou une action éolienne très prolongée, peuvent, quelques fois, présenter un façonnage caractéristique.

Afin que nos photographies ne semblent pas venir contredire cet exposé, nous devons préciser que les types représentés ont été choisis parmi les plus caractéristiques; en fait, ils sont encore très semblables.

## II. — ETUDE GRANULOMETRIQUE (tamisage)

Nous avons pu étudier quelques échantillons de sables et *feich-feich* de provenances diverses (Tableau 15).

Les tailles des mailles correspondant aux numéros des tamis cités, sont les suivantes :

| TAMIS N°.....                         | 40   | 60    | 80    | 100   | 170   | 325   |
|---------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ouverture entre mailles<br>en mm..... | 0,42 | 0,246 | 0,177 | 0,149 | 0,088 | 0,044 |

Les tamisages ont porté, en moyenne, sur des échantillons de 350 gr. Certains étaient moins importants mais jamais inférieurs à 100 gr.

Nous avons tenté de consigner ces résultats suivant la méthode de A. RIVIÈRE [103]. Mais cette méthode ne s'accommode pas du petit nombre de tamis disponibles<sup>2</sup> : celui-ci ne permettrait pas une variation suffisamment petite de  $\Delta x$  comme le voudrait une telle méthode différentielle. Tant vaut-il considérer simplement les pourcentages retenus par les six tamis utilisés.

### LES SABLES

L'observation du tableau 15 permet de constater qu'il y a un abaissement assez net des tailles moyennes des éléments depuis les sables de *ramla* ou *reg* sableux, tassés, jusqu'aux sables des dunes qui sont fluants. Nous

1. — D'autant que ces origines mêmes, qui sont presque uniquement continentales, sont certainement imprécises : elles n'impliquent pas pour autant une formation plus spécialement éolienne ou fluviale.

2. — Les tamis utilisés par A. RIVIÈRE sont au nombre de 19 et correspondent aux mailles suivantes (en mm.) : 1,89, 1,54, 1,02, 0,77, 0,67, 0,49, 0,36, 0,30, 0,25, 0,21, 0,169, 0,162, 0,124, 0,118, 0,103, 0,092, 0,072, 0,062.

avons souligné en chiffres gras les zones dans lesquelles deux colonnes voisines donnent une somme égale ou supérieure à 40 %.

Les grains de sables ramassés dans les lits d'oueds sont, en général, grossiers (mêlés à des graviers et galets), quoique comparables à ceux

TABLEAU 15

## Granulométrie de divers dépôts

| ORIGINES                                 | NUMEROS DES TAMIS |             |              |             |              |              |       |
|------------------------------------------|-------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------|
|                                          | 40                | 60          | 80           | 100         | 170          | 325          | < 325 |
| <b>Sables</b>                            |                   |             |              |             |              |              |       |
| <i>Oueds :</i>                           |                   |             |              |             |              |              |       |
| O. el Bder près Guira.....               | <b>36</b>         | <b>14</b>   | 9            | 5           | 16,5         | 14           | 5,5   |
| O. Guira au Douil Hadid.....             | <b>55,5</b>       | <b>13</b>   | 5            | 2,5         | 12,5         | 10,5         | 1     |
| <i>Ramla</i> Marzuchia méridionale....   | <b>28,6</b>       | <b>31,7</b> | <b>17,3</b>  | 7,9         | 10,2         | 3,9          | 0,4   |
| à 30 cm de profondeur.....               | <b>44</b>         | <b>16,5</b> | 9,5          | 6           | 14           | 9,5          | 0,5   |
| <i>Erg d'Oubari :</i>                    |                   |             |              |             |              |              |       |
| 30 km. au N. de Ghreifa.....             | <b>37</b>         | <b>14</b>   | 17           | 9,5         | 14,5         | 7            | 1     |
| <i>Dunes :</i>                           |                   |             |              |             |              |              |       |
| Puits Ouen-Arab.....                     | 21                | 12,5        | 8            | <b>22,5</b> | <b>31</b>    | 4,25         | 0,5   |
| Lac Tademka.....                         | 18                | 13          | 8            | <b>26</b>   | <b>22</b>    | 2            | 0,5   |
| Lac Gabroun.....                         | 11                | 9           | 12           | <b>38</b>   | <b>23</b>    | 4            | 1     |
| <b>Feich-Feich</b>                       |                   |             |              |             |              |              |       |
| <i>Tejerhe :</i>                         |                   |             |              |             |              |              |       |
| 30 Km. au N.....                         | 0,5               | 21          | 16,5         | 10,5        | <b>28</b>    | <b>20</b>    | 3,5   |
| 10 Km. au N.....                         | 2                 | <b>25</b>   | <b>17,5</b>  | 10,5        | <b>27,5</b>  | <b>13,5</b>  | 4     |
| <i>Ramla</i> Marzuchia septentrionale... | 0,5               | 11,5        | 12           | 8           | <b>34</b>    | <b>29,5</b>  | 4,5   |
| <i>El Hassi :</i>                        |                   |             |              |             |              |              |       |
| 1 Km. au S.E.....                        | 0                 | 7           | 4,5          | 10          | <b>27,5</b>  | <b>18,5</b>  | 17,5  |
| Zellaf septentrional.....                | 3                 | <b>25</b>   | <b>17,5</b>  | 10,5        | <b>25</b>    | <b>15</b>    | 5     |
| <i>Gatroun :</i>                         |                   |             |              |             |              |              |       |
| Sebkhra N.E.....                         | 0,25              | <b>30,5</b> | <b>20,25</b> | 10,5        | <b>22,25</b> | <b>13,75</b> | 2,5   |

des *ramlas* : leur dimension moyenne doit être supérieure à la maille 40 soit à 0,4 mm.

Les tailles moyennes des grains des *ramlas* sont, en général, supérieures à la maille 60, soit à un diamètre théorique de 0,25 mm.



Les tailles moyennes des grains des dunes apparaissent comme étant, en général, supérieures à la maille 170, soit 0,08 mm. et inférieures à la maille 80 soit 0,18 mm.

#### LES FEICH-FEICH

La décroissance des tailles moyennes se poursuit encore. Celles-ci sont souvent comprises entre le tamis 100 et le tamis 325 correspondant à 0,15 et 0,04 mm. A el Hassi, 17,5 % des grains sont cependant inférieurs à cette dimension et constitués par des micro-grains de quartz et de très petits agglomérats argileux.

Deux échantillons (10 km. N. de Tejerhe et Zellaf septentrional) se présentent comme étant un mélange de matériaux de *reg* sableux et caillouteux et de *feich-feich* proprement dit.

Il va sans dire que les « dimensions caractéristiques » ainsi proposées peuvent subir certaines variations. Il est probable que les limites inférieure et supérieure doivent pouvoir varier d'un numéro de tamis (exemple pour les sables de la *ramla* Marzuchia sud, ceux de la dune qui domine le lac de Gabroun et le *feich-feich* de el-Hassi).

### III. — ETUDE DES MINÉRAUX LOURDS

P. BELLAIR a mentionné [7], en 1943, les résultats d'une étude qu'il effectuait sur un échantillon de sables prélevés à bir Zellaf, point situé au S.E. d'Edri (Chati). Il a remarqué que les éléments lourds y étaient très abondants et d'une très grande variété (plus de 20 espèces).

Notre étude a porté sur 20 échantillons, tous prélevés de façon identique (pratiquement suivant un cube de 10 cm. de côté), dans divers dépôts meubles rencontrés au Fezzan : sables des dunes, sables des *regs* (*ramla*), *feich-feich*, sables marneux friables du Paléogène supérieur (Zellaf-Hofra) ou du Quaternaire (Gatroun). Du fait de manipulations et vicissitudes diverses, les quantités sur lesquelles portèrent les études, varient entre 400 et 81 gr. et s'établissent en moyenne entre 150 et 200 gr. par échantillon. Elles ont été légèrement concentrées (élimination d'une part des éléments argileux) avant les opérations de séparation. Les poids des échantillons et des concentrés sont mentionnés sur le Tableau 16 où sont condensées toutes nos observations.

D'une façon absolument générale, tous les sédiments étudiés sont apparus comme étant relativement riches en minéraux lourds assez variés. Lorsqu'on y inclut l'*hématite*, leur pourcentage est pratiquement toujours inférieur à 1 % et à 0,2 % lorsqu'en l'en exclut.

TABLEAU 16

Pourcentage de minéraux

| DURETES | REGIONS                                                                   | Aouinet<br>Ouennin            | CHATI         | ZELLAF                      |                        |                        | ERG            | OUEN AT |   |
|---------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|----------------|---------|---|
|         | Indication diverses :<br>f.f. = feich-feich                               | El-Hassl<br>Paléog.<br>supér. | Oued<br>GUIRA | Bordure<br>septent.<br>f.f. | Au N                   |                        | Taita<br>sept. | Dune    |   |
|         |                                                                           |                               |               |                             | marnes<br>grès<br>inf. | marnes<br>grès<br>sup. |                |         |   |
|         | Poids de l'échantillon en gr.                                             | 208                           | 309           | 200                         | 92                     | 400                    | 215            | 132     |   |
|         | Poids du concentré étudié                                                 | 134,579                       | 297,105       | 160,479                     | 43,633                 | 306,999                | 190,774        | 128,581 | 9 |
|         | Nature des minéraux : en %                                                |                               |               |                             |                        |                        |                |         |   |
| 7       | Quartz blanc.....                                                         |                               |               | 97,64                       | 98,830                 |                        |                |         |   |
| 7       | — hyalin.....                                                             |                               |               |                             |                        | 69,080                 | 41,62          |         |   |
| 7       | — peu teinté.....                                                         |                               |               |                             |                        |                        |                |         |   |
| 7       | — teinté.....                                                             | 99,250                        | 96,287        | 2,11                        |                        |                        | 57,350         | 99,88   |   |
|         | Blocs de grès.....                                                        |                               |               |                             |                        | 30,754                 |                |         |   |
| 9       | Hématites .....                                                           | 0,050                         | 3,510         | 0,08                        | 0,14                   | 0,002                  | 0,352          | 0,008   |   |
| 7-7,5   | Tourmaline .....                                                          |                               | 0,008         | tr.                         | 0,007                  | 0,045                  | 0,012          |         |   |
| 7,5     | Zircon .....                                                              | 0,240                         | 0,129         | 0,144                       | 0,121                  | 0,048                  | 0,415          | 0,046   |   |
| 7,5     | Andalousite .....                                                         | 0,229                         | 0,032         | 0,022                       | 0,563                  | 0,028                  | 0,033          | 0,056   |   |
| 7       | Staurotide .....                                                          |                               |               | 0,031                       | 0,031                  | 0,006                  |                |         |   |
| 6-6,5   | Rutile .....                                                              | 0,026                         | 0,018         | tr.                         | 0,018                  | 0,007                  | 0,056          |         |   |
| 6,5     | Grenat blanc.....                                                         |                               |               |                             |                        |                        |                |         |   |
| 6,5     | — jaune.....                                                              |                               |               | 0,005                       | tr.                    | 0,001                  | tr.            | tr.     |   |
| 6,5     | — rouge.....                                                              |                               |               |                             |                        | 0,006                  |                |         |   |
| 6,7     | Epidote .....                                                             | 0,028                         |               | tr.                         |                        | tr.                    |                |         |   |
| 6-6,5   | Glaucophane .....                                                         |                               |               | tr.                         |                        |                        |                |         |   |
| 5-7     | Disthène .....                                                            |                               |               | 0,007                       |                        | 0,007                  | tr.            |         |   |
| 5,5-6   | Anatase .....                                                             |                               |               | tr.                         |                        | tr.                    |                |         |   |
| 5,5-6   | Brookite .....                                                            |                               |               |                             |                        |                        |                |         |   |
| 5-5     | Sphène .....                                                              |                               |               |                             |                        |                        |                |         |   |
| 5-6     | Hornblende verte.....                                                     | 0,028                         |               |                             |                        | 0,002                  |                |         |   |
| 5-6     | Amphibole .....                                                           |                               | 0,009         |                             |                        |                        | 0,072          | 0,005   |   |
| 5-6     | Ilménite .....                                                            | 0,471                         | 0,003         | 0,015                       | 0,29                   | 0,002                  | 0,087          |         |   |
| 5,2     | Magnétite .....                                                           |                               | 0,008         |                             |                        | 0,001                  |                |         |   |
| 5       | Monazite .....                                                            |                               | tr.           |                             |                        | tr.                    | 0,003          | tr.     |   |
| 5       | Apatite .....                                                             |                               |               |                             |                        |                        |                |         |   |
|         | Hypersthène.....                                                          |                               |               |                             |                        |                        |                |         |   |
| 8       | Spinelle rouge et vert.....                                               |                               |               |                             |                        | 0,001                  |                |         |   |
|         | Pourcentage par rapport au concentré....                                  | 0,750                         | 3,713         | 0,250                       | 1,170                  | 0,166                  | 0,130          | 0,120   |   |
|         | Pourcentage par rapport à l'échantillon...                                | 0,360                         | 3,23          | 0,150                       | 0,048                  | 0,125                  | 0,114          | 0,120   |   |
|         | Pourcentage par rapport à l'échantillon<br>sans y inclure l'hématite..... | 0,036                         | 0,065         | 0,150                       | 0,011                  | 0,123                  | 0,031          | 0,084   |   |
|         | Total d'espèces minérales .....                                           | 177                           | 7             | 9                           | 12                     | 8                      | 16             | 10      | 6 |

## certains sédiments du Fezzan

| RI     |                                  | El-<br>Gattousa<br>Serir<br>f.f. | HOFRA                      | Ramla MARZUCHIA |                           |                                         |                       | GATROUN               |                 | TEJERHE                     |                  |
|--------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------------|------------------|
| amla   |                                  |                                  | Fraghem<br>grès<br>paléog. | Septentrionale  |                           | Centrale<br>30 cm<br>de pro-<br>fondeur | Méri-<br>dio-<br>nale | Ramla<br>à l'O.       | Quat.<br>Sables | Feich-feich                 |                  |
| s<br>a | 30 kms<br>N.<br>Ghreifa          |                                  |                            | f.f.            | Ramla                     |                                         |                       |                       |                 | 30 kms<br>N.                | 10 kms<br>N.     |
|        | 220                              | 347                              | 146                        | 130             | 81                        | 310                                     | 119                   | 191                   | 250             | 210                         | 223              |
| 9      | 218,160                          | 213,216                          | 132,793                    | 125,599         | 79,859                    | 306,838                                 | 112,705               | 170,513               | 179,639         | 166,049                     | 181,495          |
|        |                                  |                                  | 80,43                      |                 |                           |                                         | 90,04                 |                       |                 |                             | 21,380           |
|        | 99,756                           | 99,44                            | 19,444                     | 99,238          | 50,412<br>49,15           | 62,471<br>37,46                         | 9,799                 | 99,501                | 99,22           | 99,50                       | 63,560<br>14,250 |
|        | 0,032                            | 0,39                             | 0,065                      | 0,281           | 0,031                     | 0,016                                   | 0,008                 | 0,35                  | 0,65            | 0,42                        | 0,680            |
|        | 0,016                            |                                  |                            |                 |                           | 0,003                                   |                       |                       | 0,05            | 0,025                       |                  |
|        | 0,049                            | 0,012                            | 0,069                      | 0,130           | 0,213                     | 0,022                                   | 0,062                 | 0,13                  | 0,063           | 0,024                       | 0,080            |
|        | 0,043                            | 0,05                             | 0,004                      | 0,288           | 0,014                     | 0,002                                   | 0,006                 |                       | 0,012           | 0,030                       | 0,127            |
|        | 0,021                            |                                  |                            |                 |                           | 0,002                                   |                       | tr.                   | 0,015           |                             | 0,014            |
|        | 0,005                            | 0,019                            | tr.                        | 0,018           | 0,052                     | tr.                                     | 0,006                 | 0,005                 | 0,007           |                             | 0,009            |
|        |                                  | 0,043                            | 0,018                      | 0,018           | 0,002                     | 0,002                                   | 0,003                 | 0,001                 |                 |                             | tr.              |
|        | 0,018                            |                                  |                            |                 | 0,120                     | tr.                                     | 0,012                 | 0,006                 |                 | tr.                         |                  |
|        | tr.<br>0,002<br>tr.              |                                  |                            | 0,001           |                           |                                         |                       |                       | 0,003           | tr.                         |                  |
|        | 0,018<br>0,007<br>0,015<br>0,018 | 0,11<br><br><br>0,021            | 0,03                       | 0,026           | tr.<br>0,004<br><br>0,002 | 0,013<br><br>0,008<br>0,001             | 0,011<br><br>0,003    | tr.<br>0,005<br>0,001 | 0,10<br>0,012   | tr.<br>0,01<br>0,025<br>tr. | 0,013            |
|        | 0,244                            | 0,560                            | 0,126                      | 0,762           | 0,438                     | 0,069                                   | 0,161                 | 0,495                 | 0,780           | 0,500                       | 0,810            |
|        | 0,24                             | 0,354                            | 0,115                      | 0,76            | 0,043                     | 0,068                                   | 0,147                 | 0,45                  | 0,56            | 0,395                       | 0,363            |
|        | 0,21                             | 0,04                             | 0,04                       | 0,3             | 0,37                      | 0,05                                    | 0,13                  | 0,25                  | 0,286           | 0,038                       | 0,058            |
|        | 14                               | 7                                | 6                          | 7,              | 9                         | 11                                      | 8                     | 9                     | 9               | 10                          | 7                |

Les éléments lourds ont été séparés au moyen de la liqueur de THOULET ( $d = 2,8$  à  $2,9$ ), à l'électro-aimant (aux seuils  $0,15$ ,  $0,25$  et  $0,45$  ampères), puis à la loupe binoculaire ou au microscope.

Après plusieurs essais concernant la classification des minéraux pour la présentation du Tableau 16, nous avons adopté la classification par duretés décroissantes avec laquelle les espèces les plus fréquentes étaient le mieux groupées, les éléments les plus fréquents étant ceux dont la dureté est la plus élevée ( $6,5$  à  $9$ ). Cependant la présence de l'*ilménite*, de la *magnétite* et de la *monazite*, qui se rencontrent assez fréquemment sans être pour autant très dures ( $5$  à  $6$ ), ne peut s'expliquer que par l'extrême abondance initiale de ces minéraux.

#### 1. — FRÉQUENCES

Les éléments les plus fréquents, présents dans plus des deux-tiers des vingt prélèvements sont :

l'*hématite* (20/20), le *zircon* (20/20), l'*andalousite* (18/20), le *rutile* (17/20), les *grenats* (14/20) et l'*ilménite* (19/20) qui se rencontrent pratiquement partout (minimum 14 présences sur 20 prélèvements pour les grenats).

Les éléments fréquents, présents dans plus du tiers des prélèvements, sont :

la *tourmaline* (9/20) et la *monazite* (10/20).

Les minéraux les moins fréquents, plus ou moins accidentels, présents dans moins du tiers des gisements étudiés, sont :

la *glaucothane* (2/20), le *disthène* (4/20), l'*anatase* (4/20), la *brookite* (2/20), le *sphène* (1/20), la *hornblende verte* (2/20), l'*apatite* (2/20), l'*hyperssthène* (1/20) et le *spinelle* (1/20).

#### 2. — ASSOCIATIONS

Le minéral nettement prédominant est l'*hématite* comme le prouve la comparaison des pourcentages situés au bas du Tableau 16, pourcentages établis suivant qu'ils englobent ou non l'*hématite* : ils peuvent varier du simple au décuple. La présence de ce minéral est soumise à des causes tout à fait locales : témoin la présence de  $3,510 \%$  d'*hématite* sur  $3,717 \%$  de minéraux lourds dans les sables de l'oued Guira dans la région où affleurent les couches riches en oxydes et hydroxydes de fer. Nous avons noté, par ailleurs, la fréquence des affleurements de grès ferrugineux dans tout le territoire.

L'étude des associations minérales destinées à préciser les roches ou les massifs qui sont à l'origine des dépôts, nous montre des apports certains



de roches métamorphiques caractérisées par la présence de silicates de métamorphisme : l'*andalousite*, typique du métamorphisme de contact [120] est présente dans 18 des 20 prélèvements; *staurotide* et *disthène*, surtout caractéristiques de la zone méso- du métamorphisme général (micaschistes), apparaissent respectivement dans 9 et 4 cas. Cependant, la présence de la *monazite*, considérée par A. VATAN [120] comme dénotant une origine granitique, autorise par ailleurs à voir là les vestiges de roches éruptives. La coexistence de telles roches dans les massifs de l'Ahaggar et du Tibesti ne vient pas à l'encontre de cette conception.

En fait, en dehors des minéraux cités, à peu près tous les autres peuvent provenir de roches métamorphiques mais aussi de roches éruptives.

Le trait dominant des prélèvements étudiés, qu'ils soient d'origines paléozoïque ou nubienne, est la constante association des minéraux suivants : *quartz*, *oxydes* et *hydroxydes de fer*, *tourmaline*, *zircon*, *rutile*. Cette association est considérée, ainsi que le soulignent W.C. KRUMBEIN et F.J. PETITJOHN [77], comme étant propre aux matériaux remaniés et très dégradés

### 3. — RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE

Le Zellaf semble [6] comporter (Tableau 17) un plus grand nombre (en moyenne 12) d'espèces minérales que les autres régions plus méridionales

TABLEAU 17  
Répartition des espèces minérales suivant les régions

| REGIONS                | SERIES D'ORIGINE         | NOMBRE D'ESPÈCES minérales | PROPORTION % DES MINÉRAUX LOURDS non compris l'hématite |
|------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------|
| El Hassi.....          | Paléozoïque              | 7                          | 0,036                                                   |
| Chati .....            | Paléozoïque              | 9                          | 0,065 +                                                 |
| Zellaf .....           | Pal. et surtout nubienne | 12-8-16                    | 0,085 - 0,011 - 0,041 +                                 |
| Erg Taita.....         | Pal. et surtout nubienne | 10                         | 0,031 +                                                 |
| Erg d'Oubari :         |                          |                            |                                                         |
| zone des dunes.        | Pal. et surtout nubienne | 6-5                        | 0,0844 - 0,082                                          |
| zone <i>ramla</i> .... | Pal. et surtout nubienne | 7-14                       | 0,19 - 0,21 +                                           |
| Serir el Gattousa..    | Nubienne                 | 7                          | 0,04                                                    |
| Hofra .....            | Nubienne                 | 6                          | 0,04                                                    |
| Ramla Marzuchia.       | Nubienne                 | 7-9-11-8                   | 0,3 - 0,37 + - 0,05 + - 0,13                            |
| Gatroun-Tejerhe...     | Nubienne                 | 9-9-10-7                   | 0,25 + - 0,0286 - 0,038<br>0,058                        |

Les + marquent la présence de la monazite. En italique, les valeurs supérieures à 0,1 %.

(moyenne 9). Il est possible que cette région du Fezzan septentrional ait bénéficié d'apports récents qui ont renouvelé momentanément son stock minéral. Ces apports peuvent provenir des massifs volcaniques situés plus au N. Cependant la présence du *disthène*, caractéristique presque exclusivement du métamorphisme général (més-), et la présence de la *hornblende verte*, impliquent plutôt une origine de roches éruptives : la *hornblende verte*, si elle peut théoriquement provenir d'andésites, est en fait alors décomposée avant d'être libérée. A. VATAN voit plutôt l'origine de celle-ci dans des granites à amphibole et des granodiorites.

La *monazite*, d'autre part, apparaît dans 50 % des prélèvements effectués dans des matériaux d'origine nubienne ou récente du Fezzan sud-oriental.

En dehors de ces deux cas, bien peu nets d'ailleurs, le Fezzan ne semble pas comporter de *provinces* distinguées par des groupements minéraux importants ou spécifiques d'une origine nette. Ici encore, aux restrictions énoncées près, le trait commun aux prélèvements d'origines stratigraphiques différentes est une grande monotonie.

EN RÉSUMÉ, tous les dépôts étudiés, qu'ils soient paléozoïques, nubiens ou paléogènes supérieurs, présentent les mêmes indices d'évolution très poussée : de tous les minéraux des roches cristallines, pratiquement, ce sont les plus résistants qui ont subsisté. Ils constituent, avec le *quartz* et les *hydroxydes* et *oxydes de fer*, une association constante : *tourmaline-rutile-zircon*. Les dépôts du Fezzan sud-oriental, nubiens ou récents, semblent avoir profité d'un apport granitique dont la *monazite* serait le témoin. En dehors de ce cas, les minéraux observés peuvent provenir de roches métamorphiques aussi bien que de roches éruptives. Il n'y a donc ni association minéralogique, ni répartition géographique préférentielles nettes. Les matériaux détritiques qui comblent la cuvette fezzanaise de quelque formation ou de quelque région qu'ils soient, ont perdu tout caractère original. La monotonie qui résulte, tient probablement au remaniement permanent de matériaux d'une formation pour constituer la suivante. Un cycle sédimentaire de l'ampleur du cycle dévonien, voire nubien, semble suffisant pour conférer aux sédiments résultants des caractères identiques de dégradation très poussée.

#### IV. — CONCLUSION

En dehors des conclusions d'ordre général énoncées à propos de l'étude granulométrique, celles qui découlent des études des grains et des minéraux lourds permettent de souligner la grande vétusté des sédiments

fezzanais de toutes origines et de tous âges. Cette vétusté apparaît dans deux domaines :

1. — *Les sédiments n'ont plus de « personnalité ».*

a) Les grains sont marqués par les différents milieux qu'ils ont successivement traversés : fluviaux, éoliens, lacustres, voire marins. Les caractères acquis successivement se voilent les uns les autres en s'additionnant.

b) Les minéraux lourds présentent des répartitions géographiques et stratigraphiques semblables. En effet, les variations latérales ne révèlent pas de *provinces minéralogiques* et les variations verticales à travers les niveaux stratigraphiques sont dérisoires.

2. — *Les sédiments sont très évolués.*

Les cycles sédimentaires qu'ils ont subi les ont usés au point que seuls les minéraux les plus résistants subsistent. Ceux-ci constituent une association caractéristique des matériaux ayant subi des remaniements très importants.

---





## CHAPITRE V

### STRUCTURE

La structure du Fezzan, compte tenu de l'étendue de ce territoire, est très simple.

Du N., de l'O., du S. et du S.E., les pendages sont régulièrement dirigés vers une région centrale globalement définie par la Hofra et une partie de l'erg de Mourzouk (Pl. I). De cette structure en bassin, est venu le terme, classique maintenant, de *Cuvette fezzanaise*, terme qui, avons-nous vu, s'étend aussi à la topographie.

Ses bordures peuvent être ainsi décrites (cf. Pl. XII) :

- a) Au N., elle est limitée par la voussure des Gargafs (*coupe 1*).
- b) Au N.O., le Zegher correspond au prolongement, très adouci, vers l'O. de la voussure des Gargafs; mais il représente surtout une zone de faible ensellement entre la voussure anticlinale précédente et le revêtement du dôme de l'Ahaggar qui apparaît vers l'O. et le S.O.
- c) A l'O., on trouve en effet les séries supérieures de la couverture sédimentaire de l'Ahaggar (*coupe 2*).
- d) Au S. existe, dans le sens O.N.O-E.S.E., un ensellement, sorte de goulet structural, entre le revêtement primaire précédent et celui du Tibesti. Dans le sens N.-S., il correspond à une voussure anticlinale qui sépare le bassin du Fezzan de celui de Bilma, situé en A.O.F. (*coupe 3*).
- e) Au S.E., on rencontre les séries supérieures du recouvrement qui, jusqu'au djebel ben Guenemma, forme la couverture sédimentaire primaire du Tibesti (*coupe 5*).
- f) A l'E., entre Khneir et T'messa, se trouve un goulet structural ouvert vers l'E. (*coupe 4*), vers la transgression éocène.

Les éléments structuraux intéressants sont représentés par la voussure située dans le Fezzan septentrional et par les interruptions que nous avons relevées à l'E. et au S. dans la forme régulière de la Cuvette fezzanaise. Les autres s'intègrent, ou plutôt constituent, une partie des revêtements sédimentaires mêmes des deux massifs cristallins que nous connaissons.

### **a) La voussure des Gargafs**

Cet anticlinal orienté vers l'E.N.E. laisse apparaître le cœur gothlandien localement à bir el Gasr à l'O. des Gargafs dévoniens, essentiellement gréseux, subhorizontaux, sans fossiles. Le flanc sud affleure au Chati où on trouve du Tournaisien marin à épisodes continentaux qui plonge vers le S. Le flanc septentrional apparaît à Aouinet-Ouennin où affleure un Dévonien supérieur marin, probablement très proche d'une zone de passage Dévonien-Tournaisien. Il est essentiellement gréseux, plongeant faiblement vers le N.N.O. Cette région jalonne la transgression marine qui atteint Serdelès et le Chati au Tournaisien inférieur.

Cette voussure se prolonge vers l'O. avec un caractère anticlinal très atténué. De Timénocaline à Dembara, constituant tout le Zegher, affleure en effet du Dinantien, et, plus précisément, du Viséen calcaire, marin et continental.

Ce plissement des Gargafs devait être déjà esquissé dès la fin du Dévonien. Il joua durant le Tournaisien puis lors de la régression viséenne pour donner un bombement probablement important, contemporain des mouvements hercyniens. Il est demeuré, semble-t-il, à l'abri de toutes nouvelles incursions marines ou formations lagunaires qui s'arrêtent toutes à son voisinage. On trouve en effet, pense-t-on, la limite de la transgression éocène, à sa bordure orientale et à ses bordures méridionale et occidentale, les limites des formations lagunaires du Paléogène supérieur et de formations postérieures.

Sa partie septentrionale fut, du Tertiaire à nos jours, le siège de manifestations éruptives très importantes qui, actuellement, sont à peine en relief dans ce massif largement offert à l'érosion étant donnée la proximité des mers à certaines époques.

### **b) Les bombements de l'O.S.O. (Ahaggar) et du S.S.E. (Tibesti)**

Ceux-ci sont nés dès la régression du Silurien supérieur. Ils surgirent alors davantage, durant tout le Paléozoïque, à chacune des oscillations du socle qui régèrent les grands traits de la géologie dont nous retracerons

plus loin l'Histoire. Les reliefs furent de la sorte rajeunis, permettant à l'érosion un travail de décapage périodiquement intensifié, jusqu'au moment où le socle schisto-cristallin apparut en boutonnière, émergeant des couvertures sédimentaires progressivement démantelées. Les produits de désagrégation de ces dépôts déjà remaniés et des formations cristallines servirent à combler, durant le Nubien, la Cuvette fezzanaise; au début de cette période calme, celle-ci devait se présenter comme une immense gouttière inclinée vers le N.E. entre le bombement de l'Ahaggar et la voussure des Gargafs vers le N., et celui du Tibesti vers le S.; gouttière limitée au S. par la zone d'ensellement du Mangueni - plateau de Djado.

Du Tertiaire à nos jours, ils furent le siège de manifestations volcaniques très importantes. Au Tibesti notamment, ces épanchements constituent une grande part des terrains éruptifs.

### **c) Le goulet structural du S. (*Mangueni-Djado*)**

Il est étroitement lié aux divers réhaussements dont les bombements voisins furent l'objet : il dut apparaître en même temps que ces derniers. Il est marqué par une digitation de Carbonifère orientée vers l'O.N.O. et qui se trouve à une latitude sensiblement plus méridionale que celle de Toummo (p. 51).

Bien plus que comme un synclinal entre les deux massifs, il apparaît comme étant une ride soulevée par les deux énormes bombements et qui relie leurs couvertures et sépare les régions structurales situées de part et d'autre vers le N. et le S. Sur le plan structural, cette zone d'ensellement marque la limite méridionale de la Cuvette fezzanaise.

### **d) Le goulet structural de l'E. (*sérir el Gattousa*)**

Il est, lui aussi, lié à la mise en place de la voussure anticlinale importante des Gargafs et du bombement du Tibesti. Il dut donc apparaître comme les précédents, vers la fin du Primaire, contre coup des plissements paléozoïques. Il prolongeait vers le N.E. la gouttière inclinée dont nous venons de parler : la Cuvette fezzanaise. Celle-ci semble donc bien ouverte dans cette direction où l'existence d'une ride paraît bien improbable étant donné l'éloignement des centres d'orogénèse et la présence dans cette direction d'une zone peu résistante du socle qui permit à la transgression éocène de gagner le pied du Tibesti. Il est possible qu'il ait faiblement joué (pendages des terrains du Paléogène supérieur) lors des périodes de manifestations volcaniques qui s'échelonnent du Tertiaire à nos jours.

Mais en fait, malgré toutes les présomptions, nous ignorons si vers l'E., la cuvette fezzanaise reste ouverte ou se ferme sous la couverture éocène, (Pl. XII, coupe 4), vers le Dor el Gani ou au delà.

Nous avons noté quelques rides (T'Messa-Majedoul) parallèles à l'axe général du goulet structural du sérir el Gattousa et qui seraient des signes de compressions latérales, postérieures au Nubien.

### e) Conclusion

A la suite des contre coups hercyniens et des surrections successives auxquelles furent soumis, dès l'époque calédonienne, les bombements de l'Ahaggar et du Tibesti et l'importante voussure anticlinale des Gargafs, la *Cuvette fezzanaise* était déjà dessinée, plus large, plus nettement que maintenant et déjà ouverte vers le N.E. Cette cuvette structurale s'est comblée pendant le Nubien et sa configuration générale dès lors, n'a subi aucune modification. Elle fut rajeunie par les manifestations éruptives récentes qui se produisirent sur sa périphérie méridionale et septentrionale, sur l'emplacement du bombement et du large anticlinal dont les couvertures sédimentaires jalonnent son ouverture orientale. Il est probable qu'à cette même époque néogène, il y eut un relèvement du socle, contemporain des régressions de même âge vers le N., et qui inclina la cuvette et les formations paléogènes dans leur disposition actuelle.

Cette cuvette ouverte à l'E., installée dans sa forme globale dès le début de l'ère secondaire, et pratiquement dans son relief dès la fin de l'Eocène, est donc essentiellement constituée par les pentes de l'Ahaggar, du Tibesti et des Gargafs.

L'étude structurale de cette petite partie du socle africain traduit donc, d'une part, une persévérance dans la tranquillité à travers les ères géologiques et, d'autre part, une vétusté et une usure des matériaux de comblement, plusieurs fois remaniés, mise en lumière par les études précédentes; ce sont là faits rarement observés ailleurs.

---



## CHAPITRE VI

### HISTOIRE GEOLOGIQUE

L'Histoire de la Géologie, ou encore l'essai paléogéographique, qui va être esquissée, vient illustrer l'ampleur et presque la régularité des mouvements d'oscillations qui affectèrent cette portion d'Afrique (Pl. II et XIII).

Celle-ci se trouve sur la bordure septentrionale du vaste bouclier saharien actuellement jalonné par les massifs schisto-cristallins de l'Ahaggar et du Tibesti.

#### **α) La transgression cambro-silurienne**

Le socle saharien fut envahi par la mer lors de la transgression cambro-silurienne qui est partout marquée par des conglomérats. Le Silurien inférieur caractérise des dépôts de mers peu profondes, épicontinentales, jalonnant les plages septentrionales du grand continent africain d'alors. Ces dépôts sont composés d'alternances de formations marines et de bordures (zones momentanément émergées) : marnes, grès et graviers à brèves passées marneuses. Cette transgression recouvrit les emplacements actuels des massifs du S. et de l'O. Un tel régime dura dans les régions méridionales jusqu'à la fin du Silurien, donnant les dépôts détritiques des *Grès à Har-lania*.

Vers l'O. et le N., conséquence des mouvements calédoniens, il fut interrompu lors du Gothlandien inférieur où apparaît un régime de mers profondes déposant des vases marines, les argiles à Graptolites, en formations assez épaisses. Vers le N., l'existence de ce régime est jalonné par un affleurement d'argiles à *Monograptus*. Quoique celui-ci soit isolé et peu étendu, il est peu vraisemblable qu'il s'agisse là d'un *essaïm de plankton étranger* [91] échoué sur des fonds littoraux ou momentanément hospitaliers. Le

sommet de cette série argilo-schisteuse est marqué par des passées gréseuses qui deviennent de plus en plus fréquentes, trahissant le relèvement des fonds marins.

Au Gothlandien supérieur, le régime initial de bordure, avec dépôt de Grès à *Harlania* est rétabli. Le passage des faciès profonds du Gothlandien inférieur de l'O. aux faciès marins néritiques et momentanément émergés du S., s'effectue entre Ghat et In Ezzan. La zone des grands fonds prend donc le Fezzan en écharpe, probablement dans sa moitié septentrionale.

On peut se demander dans quelle mesure les dépôts de bordures, détritiques essentiellement, vont en s'amincissant en s'éloignant vers le N. à partir des zones de rivages méridionales, et dans quelle mesure les dépôts de mer profondes vont en s'épaississant dans la même direction. Aucune observation ne permet jusqu'à présent de se faire une idée de l'ordre de grandeur de telles variations.

Sur la Pl. II, nous n'avons pas tenté de jalonner les rivages des mers siluriennes car nous aurions été amenés à couvrir de hachures pratiquement tout le Fezzan méridional et les pays voisins.

### **b) La régression du Silurien supérieur. — Emergence dévonienne**

Le régime de plages ne se poursuit pas au delà du Silurien supérieur; la mer a été rejetée très loin. Les bombements de l'O. et du S. sont esquissés.

Durant tout le Dévonien, des formations continentales vont se déposer au Fezzan. Elles sont essentiellement gréseuses. Le milieu est azoïque.

### **c) Transgression de la fin du Dévonien et du Dinantien**

Notre point de vue tend à rapporter à des époques relativement voisines, les premiers dépôts marins d'Aouinet-Ouennin (Dévonien tout à fait supérieur) de Serdelès et du Chati oriental (base du Tournaisien et Tournaisien). Quoiqu'il en soit, nous ignorons les limites, vers l'E., de la transgression à l'époque tournaisienne. Nous savons qu'au Viséen inférieur la transgression dinantienne avait atteint ses limites extrêmes au Fezzan oriental. Vers l'O., les rivages se situent dans la région du Tihemboka (sebkhra Amsralad) et de Serdelès.

Durant tout ce laps de temps, le socle tout entier subit des oscillations qui provoquèrent des approfondissements momentanés, donc des alternances de faciès et des intermèdes continentaux.

#### d) Régression du Viséen supérieur. — Période nubienne

A partir de la régression contemporaine du Viséen supérieur commence une ère d'émersion. Celle-ci fut générale en Afrique centrale et septentrionale à des périodes sensiblement différentes d'une région à l'autre; elle englobe à peu près généralement le Secondaire moyen.

Désormais, le Fezzan ne verra plus d'incursions marines généralisées; le bord du continent de Gondwana s'est relevé, reculant ses limites plus au N. Le Permien marin, à faciès gréseux et schisteux, ne se retrouve en effet qu'en Tunisie, au djebel Tebaga, sensiblement à hauteur du parallèle de Médenine. La voussure anticlinale du N. et surtout les bombements de l'O. et du S. prennent de l'importance : leur démantèlement fournira à l'érosion les matériaux qui constitueront la *Série nubienne*.

La base de la série continentale déposée alors au Fezzan est quelquefois individualisée en *Continental post-tassilien* lorsqu'il s'agit de dépôts continentaux poursuivant les assises viséennes. La majeure partie des formations continentales, dont certains niveaux livrent des Fougères et troncs fossiles, date du Nubien *sensu stricto* considéré comme essentiellement wealdien.

Le bassin fezzanais d'accumulation se présentait sous la forme d'un trapèze dont les côtés septentrionaux et orientaux ne se rejoindraient pas : le côté septentrional, orienté à l'E.N.E., correspond à la voussure anticlinale des Gargafs; le côté occidental, orienté au S.E., correspond à un secteur du recouvrement du bombement de l'Ahaggar; le côté méridional, orienté à l'O.N.O., correspond à l'ensellement entre Ahaggar et Tibesti, relevé lors de la surrection de ces bombements; le côté oriental, orienté au N.E., correspond à un secteur du recouvrement du bombement du Tibesti.

Ce bassin d'accumulation ouvert par un goulet vers l'E., n'a vu, durant tout ce laps de temps, aucun épisode marin et vraisemblablement aucun épisode lagunaire; seuls existent des dépôts gréseux et argileux formés en milieu acide et lessivés; les dépôts calcaires sont, de ce fait, absents de cette formation de piedmont, immense zone d'épandage des torrents descendants des massifs voisins qui furent décapés et où le socle cristallin fut mis à nu probablement dès cette époque.

#### e) Transgression cénomaniennne

Celle-ci se heurta au N., au flanc septentrional de la voussure des Gargafs dont le raccordement est possible avec le recouvrement septentrional de l'Ahaggar. Elle s'est donc probablement limitée au S. du tracé actuel

de la bordure méridionale des hamadas el Homra et du Tinghert. Au S. du Fezzan, la transgression est jalonnée par quelques dépôts. Absolument rien ne prouve que le territoire n'ait pas été recouvert à cette époque; l'érosion post-crétacée des dépôts de la cuvette a été intense. Aussi bien d'ailleurs, la transgression venant du S., a pu se limiter à la ride anticlinale qui barre le goulet existant entre Tibesti et Ahaggar.

### **f) Régression du Crétacé supérieur**

#### **Transgression éocène. — Période d'érosion**

Dès le sommet du Crétacé supérieur, avec le recul de la mer, donc avec le renouvellement du niveau de base du réseau hydrographique, le pays tout entier a été soumis à une érosion extrêmement active.

C'est durant cette période éocène que s'élabora le relief actuel. Les réseaux hydrographiques des pentes de l'Ahaggar, dirigés vers les rivages du Crétacé supérieur (tel, par exemple, l'oued Tanezzouft), furent captés et orientés vers la dépression orientale, en voie de formation, et vers les rivages éocènes par deux débouchés privilégiés : l'ouadi Khneir et la ramla Marzuchia.

Il est probable que le retrait de la mer, au Crétacé supérieur, a été contemporain d'une nouvelle surrection des bombements voisins et du socle en général. Vers l'E., une zone peu résistante orientée N.S., permit à l'incursion éocène d'atteindre les pentes du Tibesti et du Dohone. Ses rivages occidentaux ont un tracé sub-méridien à l'E. de la Cuvette fezzanaise.

Un creusement important, et d'une intensité rare, des dépôts nubiens eut alors lieu; au S. de la ramla Marzuchia, des falaises comparables à celles de l'ouadi el Ajal ont dû exister, dominant les cours d'eau qui s'acheminaient vers l'E. après avoir drainé des affluents d'importances diverses : l'ouadi Nescouia, l'ouadi Berjouj par exemple, ou même, bien plus au S., l'ouadi Heukma (Gatroun). L'ouadi Khneir, de par sa position excentrique par rapport au goulet structural, dut être le siège de creusements moins intenses.

Retenons que le relief actuel correspond au relief éocène très adouci; les vallées ont été comblées, la topographie très nivelée.

### **g) Régression éocène**

#### **Période de comblement et lagunaire**

Dès le début de la régression de la mer éocène, régression qui se poursuivra progressivement durant tout le Néogène, ramenant la mer avec quel-



ques oscillations à ses rivages actuels, la période d'érosion s'arrête en ce qui concerne l'intérieur du bassin fezzanais. Le socle s'est relevé, le système hydrographique, sans débouché vers l'E., se comble, donnant les dépôts détritiques et non tassés, décelés par les forages entrepris dans la Cherguya. Les eaux, ne pouvant plus être évacuées, recouvrent le bassin, constituant un système lagunaire très étendu : le socle s'est figé.

Nous avons vu que ce système devait être divisé en deux immenses lacs séparés par l'éperon prolongeant la crête du Messak oriental vers l'E., jusque dans le Bouanis (Pl. II). Les limites du lac septentrional suivaient les contours de l'actuel relief : Chati méridional, zone du Chott jusqu'à el Hassi, base de la falaise de la hamada el Homra jusqu'à une limite occidentale imprécise mais probablement marquée par la région de plateaux qui sépare le grand erg d'Oubari de l'erg d'Issaouan. Une partie du Zegher et une grande partie de l'erg d'Oubari durent être recouvertes.

Le lac méridional dut avoir des limites plus réduites : il recouvrit une grande partie du sérir el Gattousa, la hamada de Mourzouk orientale et probablement le quart N.E. de l'erg de Mourzouk, de l'ouadi Heutba oriental à une région voisine du S. de Tejerhe.

Les parties détritiques se trouvent surtout à la base de ces dépôts ; puis, au fur et à mesure que la pente s'affaiblissait, les parties fines (argiles, marnes sableuses) se déposèrent. Au moment de ces dépôts, une couche (macro-croûte) de calcaires gréseux, d'épaisseur variable, se constitua et des sels se concentrèrent dans les bas fonds d'alors (zone des lacs) durant la disparition, par évaporation, de ces systèmes lagunaires. Ce sont ces calcaires gris-beige, au faciès très homogène, qui se retrouvent d'un bout à l'autre de la cuvette.

Il est d'ailleurs probable que lors d'un nouveau léger mouvement du socle, contemporain de la phase d'orogénèse alpine ou de manifestations éruptives, la partie du Fezzan située vers l'E. s'abaissa et que les deux débouchés de l'ouadi Khneir et de la ramla Marzuchia purent refonctionner ; les lagunes furent évacuées avant la complète disparition des eaux ; celles-ci ravinèrent profondément les dépôts qu'elles avaient engendrés, notamment vers le Chati et Souila-T'messa.

### **h) Les périodes humides**

La Cuvette fezzanaise, après cette dernière manifestation, n'a pratiquement plus d'histoire. Elle retrouve la fixité dont elle avait été le siège durant la plus grande partie de l'ère secondaire, à l'existence des systèmes lagunaires près. L'érosion parfait son œuvre, les oueds, tous parve-

nus au stade de sénilité, n'ont pratiquement plus de pente; leurs lits, témoins du régime hydrographique antérieur, sont d'une largeur disproportionnée aux débits qu'ils ont à drainer actuellement. Le niveau de base n'a plus varié. Les dépressions sont toutes plus ou moins comblées par des apports fluviaux ou éoliens.

Durant les périodes humides essentiellement quaternaires anciennes, impossible à dénombrer, elle a connu des renouveaux d'activité d'intensités variables : comblements plus rapides des dépressions (sables graviers), répartitions des matériaux par les cours d'eaux (sérirs), immersions momentanées des bas-fonds (nivellement des dunes, *regs* sableux), remaniements locaux des sédiments déposés antérieurement (Doujal, régions de Gatroun et Tejerhe), dépôts de sels dans les points bas lors de l'évaporation des eaux libres et à la faveur de mécanismes actuels d'écoulements superficiels que nous étudierons plus loin. Des faunes et lumachelles ont été découvertes qui limitent ces formations.

EN RESUME : L'histoire géologique du Fezzan est celle d'une petite partie de la zone septentrionale du Continent africain : cette portion semble être restée à peu près étrangère aux mouvements orogéniques dont la Berbérie fut le siège. Elle n'en ressentit que de très faibles contre-coups marqués par les transgressions qui, durant le Paléozoïque notamment, submergèrent le territoire par trois ou quatre fois, comme un rivage reçoit une série de vagues affaiblies, provoquées par une perturbation lointaine.

Ces mouvements ont eu une amplitude verticale faible, mais ont affecté des superficies considérables. Leurs conséquences se sont faites sentir jusqu'au tropique et plus au S. même. Ils n'ont cependant pas détruit la structure générale globalement en forme de cuvette très probablement non fermée vers l'E. Un tel bassin existe depuis la période d'orogénèse hercynienne qui amena la surrection des dômes de l'Ahaggar et du Tibesti et la formation de la voûture anticlinale des Gargafs. Cette dernière put constituer une barrière pour la transgression cénomaniennne qui, probablement, ne recouvrit pas le Fezzan.

Les reliefs du bassin se sont sculptés durant l'Eocène : ils se sont peu à peu adoucis et la cuvette s'est comblée, surtout pendant la période lagunaire du Paléogène supérieur. Depuis lors, ces dépôts ont été remaniés et les sels concentrés vers la surface du sol.

Il apparaît, à la suite de ce bref exposé, combien lent a été le travail de la nature dans la région que nous étudions. Depuis les mouvements pa-

léoziques qui provoquèrent la surrection des dômes et anticlinaux que nous connaissons, on se trouve pratiquement en présence d'un seul cycle orogénique qui, lentement, est en voie d'achèvement. En effet, nous avons successivement : surrection, apparition de la cuvette structurale (fin du Paléozoïque); puis comblement (Nubien) remis en question par la transgression éocène, et pratiquement terminé lors du Paléogène supérieur; pénéplanation, concentration des sels à la surface du sol et dans les bas-fonds (Paléogène supérieur à nos jours).

Globalement la cuvette fezzanaise date du Paléozoïque et les dépôts nubiens et postérieurs, font figures d'alluvions anciennes et récentes : les traces de vétusté se retrouvent aussi bien dans l'étude de la structure que dans celle des matériaux que les diverses périodes d'érosion ont plusieurs fois remis en mouvement en leur faisant perdre tous caractères initiaux.

---





## **DEUXIEME PARTIE**

---

# **Etude Hydrogéologique**

---

Nous allons aborder la question qui est primordiale en pays sahariens et désertiques en général: celle de l'eau.

Les Italiens l'avaient déjà étudiée. P. VINASSA DE REGNI [121] en 1932 situait le problème, et, notamment pour Ghadamès où un sondage donna des eaux chaudes, voyait dans ces venues au jour d'eaux profondes, comme c'était classique alors, une origine volcanique: il s'agissait d'eaux juvéniles.

A. DESIO, plus tard, en 1937 et en 1938, révisa [46] cette conception et, globalement, vit dans les ergs, les réservoirs hydrauliques qui dispensaient l'eau sur leurs pourtours.

Ce n'est qu'en 1945 qu'une interprétation différente fut publiée par P. BELLAIR [6]. Enfin, en 1947, A. CORNET, géologue au Service de la Colonisation et de l'Hydraulique de l'Algérie, se pencha sur le problème et voulut bien nous faire part de son rapport qui appartient aux Archives inédites de son Administration, et pour lequel nous lui renouvelons nos remerciements cordiaux.

Les moyens des missions que nous avons conduites et les observations ultérieures, effectuées avec les concours amicaux que l'on sait, nous ont donné la possibilité de travailler sur des données précises, multiples, répétées, qui étaient nécessaires pour pouvoir quitter le domaine de l'hypothèse: analyses d'eau, mesures altimétriques et piézométriques, résultats des sondages, nombreuses études entreprises (pétrographie, granulométrie, perméabilité, porosité, rétention, etc...); la coordination de tous ces résultats et nos observations, sont autant de faits nouveaux, récemment acquis, sur lesquels nous pouvons maintenant nous appuyer pour concevoir les mécanismes hydrogéologiques et hydrauliques qui fonctionnent au Fezzan.

L'exposé de nos observations, études, résultats et de notre conception de l'hydrogéologie du Fezzan, fait l'objet de cette deuxième partie.

Nous voulons cependant, auparavant, revenir sur un point.

Nous avons déjà signalé les difficultés qui ont été rencontrées lorsqu'il s'agit d'évaluer les cotes de points remarquables du territoire. Les altitudes relevées sur les cartes diffèrent entre elles et ne sont pas toutes en accord avec l'avis des personnes qui ont été sur les lieux; nous nous permettons, à notre tour, de donner notre point de vue.

Dans chacune des régions qui vont être étudiées, les observations altimétriques ont été faites avec corrections effectuées à partir d'appareils enregistreurs situés en un point central de celles-ci. Les altitudes ainsi définies sont précises à environ 5 m. près, relativement à ces points.

Les cotes de chacun d'eux n'ont pu être déterminées de façon rigoureuse par rapport à celle de Fort-Leclerc à Sebha, faute d'appareils topographiques suffisants. Des valeurs leur furent données qui ont été obtenues par recoupement et par des mesures altimétriques répétées, effectuées à plusieurs reprises lors des déplacements rapides, la nuit de préférence, entre ces points et la station centrale : les vérifications se sont faites lors de nos différents déplacements en contrôlant les cotes au départ de Fort-Leclerc et à l'arrivée. Ces valeurs ont toujours concordé à 10 m. près.

Sont donc adoptées pour cotes de références :

|                                                                              |        |
|------------------------------------------------------------------------------|--------|
| pour le Chali, le fort de Braki, à.....                                      | 375 m. |
| pour l'ouadi el Aïal, le fort d'Oubari, à.....                               | 475 m. |
| pour l'ouadi Heutba, la Hofra et la Cherguya,<br>le fort de Mourzouk, à..... | 475 m. |

en prenant pour base de mesures, le sommet de la gara de Fort-Leclerc, à 480 m.

Une autre conséquence des imprécisions qu'on rencontre dans ces contrées, est que des villages du Fezzan ne sont pas placés sur les cartes que nous proposons, à leurs positions exactes : celles que nous donnons n'ont donc qu'une valeur relative qui, d'ailleurs, peut être tolérée par l'échelle de 1/500.000<sup>e</sup> à laquelle l'état sommaire des connaissances géographiques, concernant les régions étudiées, a contraint de travailler.

---





## CHAPITRE VII

### ETUDES REGIONALES

#### Le Chati

Le Chati (Pl. III) correspond à un alignement d'oasis globalement orienté O.E., suivant l'axe défini par Edri-Brak et Khneir qu'il n'atteint pas.

Il se présente comme une bande d'environ 100 km. de long sur 10 à 15 km. de large. Il est bordé au N. par les plateaux gréseux découpés des Gargafs qui s'étendent dans cette direction jusqu'au djebel Fezzan et à la hamada el Homra; et au S., dans sa partie occidentale, sur le grand erg d'Oubari qui le limite aussi à l'O., et dans sa partie orientale vers le Zellaf qui prolonge l'erg précédent vers l'E.

Son altitude est plus élevée vers l'O. (400-425) que vers l'E. (375-400).

#### 1. — SITUATION GEOLOGIQUE

Rappelons que le Chati correspond globalement au flanc méridional de la voussure anticlinale des Gargafs (Pl. XII, coupe I). Les grès et argiles du Dévonien constituent ces derniers et affleurent également vers el Hassi et Edri. Les formations affleurant au Chati avec un faible pendage vers le S. sont tournaisiennes, marines, sauf entre Agar et Deb-Deb où elles sont continentales et très ferrugineuses (p. 45).

Ces couches sont recouvertes en discordance par les dépôts du Paléogène supérieur de *calcaires gréseux et marnes sableuses* qui apparaissent (Pl. XIV, coupes 1 et 2) sporadiquement en îlots, coiffent les buttes entre Tarout et Douissa vers l'O., et de façon de plus en plus importante, jusqu'à être continues, un peu avant de parvenir à l'oued Khneir, vers l'E. (Pl. XIX, fig. 1, 2 et 3). Elles plongent très faiblement vers le S., vers le Zellaf dont le sable les recouvre.

## 2. — HYDROLOGIE

A peu près partout dans le Chati, l'eau est artésienne ou ascendante.

## a) DESCRIPTION DES POINTS D'EAU

1° *L'eau est artésienne avec niveau statique sensiblement identique à celui du sol.*

Retenue alors par un léger remblai, l'eau ruisselle dans un réseau de rigoles (les *séguías*) pour irriguer par gravité le petit jardin (*séniet*) qui entoure le point d'eau. Celui-ci est alors appelé *aïn* (pluriel : *äioune*). Il se présente comme un bassin de 0 m. 50 à 15 m. et même 18 m. de diamètre suivant l'importance de son débit. Un léger bouillonnement avec apparition de bulles de gaz, situe quelquefois la zone où, en profondeur, l'eau sourd. Souvent, la faiblesse du débit oblige les indigènes à faire, à côté de l'*aïn*, un bassin d'accumulation où est retenue l'eau de la nuit. Au matin, ils procèdent à l'irrigation à partir de ce bassin dont la taille alors, n'a plus de rapport avec le débit (Pl. XXI, fig. 2 et Pl. XXII, fig. 1).

La profondeur va de quelques centimètres à 1 m. 50 ou 2 m.

Certains villages, surtout dans le Chati oriental, n'ont pas d'autre mode d'alimentation en eau; dans une même agglomération, la quantité de ces *äioune* est souvent élevée : on en compte plus de 50 à Guira, 25 à Deb-Deb; à Brak, il en existe trois très importants (Pl. XXI, fig. 5 et 6).

On en trouve également, mais en moins grand nombre, à l'extrémité occidentale du Chati, à Edri et dans sa région, à T'missan et Hatya d'Edri.

2° *L'eau est artésienne avec niveau statique nettement supérieur à celui du sol.*

Il s'agit alors d'*äioune* identiques à ceux du premier type mais situés très souvent au sommet de buttes qui peuvent devenir de véritables petites dunes ou collines.

Suivant leur débit, ils entretiennent alors une touffe de joncs (Pl. XXI, fig. 3), quelques végétations dans les abords immédiats, une palmeraie ou bien un village dont ils sont le centre. C'est ainsi le cas, respectivement, à bir Gualmara ou Douessa, à Ech-Kidha ou bien à Maharouga, Agar, Gotta Ouenzérík, etc... Dans chacun de ces derniers villages, un seul *aïn* fait vivre 320, 1.100, 1.200, 1.400 sédentaires, sans compter nomades, irrigation, etc... (Pl. XXI, fig. 1)

D'une façon générale, parmi ces points d'eau, ceux qui servent à l'alimentation des villages, sont entourés d'un empilement boulant de cailloux.

Celui-ci veut constituer un mur : à Brak et à Ouenzérik seulement, nous avons trouvé un bassin cimenté avec déversoir.

### 3° Les puits classiques.

Ils existent surtout dans le Chati central et occidental. Leurs profondeurs varient entre 3 et 4 m. vers Brak et Agar, et 25 m. vers Ouenzérik. Les indigènes creusent et retirent des dalles de grès marneux ou compacts, très durs, sous lesquels l'eau sourd. Ils s'arrêtent lorsque le débit, au fond, les empêche de poursuivre. L'eau monte plus ou moins haut dans les puits suivant le niveau topographique.

En général, elle monte jusqu'à 1 m. ou 2 m. au dessous du niveau du sol, ce qui permet l'emploi du système à *balancier* pour puiser l'eau nécessaire à l'irrigation des jardins. En fait, quelques fois, le niveau se stabilise ainsi parce que les indigènes tirent l'eau presque sans arrêt : ils puisent jusqu'à l'assèchement, puis attendent durant un laps de temps plus ou moins long que le niveau de l'eau soit remonté pour pouvoir recommencer. Dans bien des cas, si le propriétaire négligeait de puiser pendant quelques jours, l'eau déborderait du puits (Pl. XXI, fig. 4).

Exceptionnellement on trouve au Chati, des puits à *dalous* lorsque l'eau est hors de portée des *balanciers*, comme c'est le cas à Ouenzérik.

Il arrive, notamment dans le Chati oriental, que l'indigène fonçant son puits, en général à l'emplacement d'un *aïn* de trop faible débit, voit l'eau sourdre soudain plus abondamment et monter à un niveau supérieur à celui du sol. On a alors le curieux spectacle d'un *aïn* avec remblai périphérique retenant quelques centimètres d'eau avec, au milieu, le trou du puits dont le bord est jalonné par des pierres immergées.

En règle générale, chaque jardin, divisé en *djédouals*, a son *aïn* ou son puits.

Citons encore, parmi les puits, ceux qui sont foncés en bordure du Zel-laf, au voisinage de la sebkhra qui s'y trouve, dans des terrains sableux et détritiques : l'eau, qui se trouve à 0 m. 50 ou 2 m. de la surface, est sursalée.

### 4° Les sondages.

#### a) Les sondages par battage à mains.

Ceux-ci existent en petit nombre (Tabl. 18) et sont forés à des profondeurs variant entre 12 et 45 m. Quelques fois non tubés, ils le sont souvent en partie et rarement entièrement jusqu'à la couche exploitée. A peu près tous ont été foncés sur des emplacements d'*aïoune*.

TABLEAU 18  
Profondeurs des forages exécutés dans le Chatî

| LOCALITES                | NOMBRE | PROFONDEURS ATTEINTES<br>(en mètres) |
|--------------------------|--------|--------------------------------------|
| Debdeb.....              | 3      | 19,80 - <u>90</u>                    |
| Guira.....               | 2      | 25,50 - 32,50 - 21                   |
| Brak (Aïn en Neuçf)..... | 2      | ? - <u>65</u>                        |
| Zellouaze.....           | 4      | 31 - 26,50 - 29 - 29,50              |
| Zouaya.....              | 3      | ? - ? - ?                            |
| Agar.....                | 2      | 29 - <u>75</u> puis <u>100</u>       |
| Maharouga.....           | 2      | 36,80 - <u>90</u>                    |
| Gorda.....               | 1      | <u>66,50</u>                         |
| Douissa.....             | 1      | 44,80                                |
| Gotta.....               | 1      | <u>100,80</u>                        |
| El Golla.....            | 1      | 24,50                                |
| Berguen.....             | 1      | 2                                    |
| Ouenzèrik.....           | 1      | <u>82</u>                            |
| Hatya d'Edri.....        | 1      | <u>150</u>                           |

En gras : profondeurs atteintes par les forages exécutés avec injection de boue.

Aucun renseignement ne subsiste sur les terrains traversés ou sur les variations de débits survenues lors de leurs exécutions. Leurs profondeurs n'ont pas excédé 44 m. 80 à Douissa<sup>1</sup> et leurs débits 0,5 à 2 l/sec. sauf peut être à Brak d'où les renseignements manquent, et à Douissa où les débits ont atteint 15 l/sec. (Pl. XXII, fig. 2).

b) Les sondages à *injection de boue*.

Ceux-ci, au nombre de huit, ont atteint des profondeurs variant entre 65 m. et 150 m. Tous ont été tubés et cimentés. Les coupes des terrains traversés et les variations de débits ont pu être consignées; des études ont pu être effectuées sur les carottes obtenues : plaques minces, porosités, perméabilités, rétentions spécifiques.

Les coupes sont très difficilement interprétables pour des raisons que nous avons déjà précisées (p. 46). Les carottes n'ont été prises systématiquement que dans les deux derniers forages : elles ont été prélevées essentiellement dans des grès aux fins d'obtenir des données de capacité et vitesse d'écoulement de l'eau. Les grès carottés varient du grès grossier très poreux ou fin, à peine consolidé, au grès grossier ou fin silicifié. Quelques carottes ont parfois été prises dans d'autres forages.

1. — Sondage de Douissa n° 291.



Les renseignements fournis par ces forages sont extrêmement précieux et permettent maintenant de travailler sur des faits que nous avons pressentis lors de la première mission (fig. 11).

Les caractéristiques techniques et hydrauliques des forages du Chati que nous avons pu suivre, sont consignées dans le fichier du B.I.R.H. sous leurs numéros respectifs.

Aucun d'eux n'a été l'objet d'essais qui nous auraient donné les courbes de débit et de vitesse de remontée du plan d'eau. La plupart sont artésiens et donnent des débits qui vont en augmentant en profondeur et qui varient entre un mince filet d'eau et une quarantaine de l/sec. (Tabl. 20)

#### b) RÉPARTITIONS DES POINTS D'EAU

Parallèlement aux augmentations, relativement faibles, de l'altitude de l'E. vers l'O., et de la dépression qui jalonne la bordure septentrionale du Zellaf vers le N., on remarque l'accroissement du nombre des puits dans ces directions; du même coup celui des *aïoune* décroît et devient localement nul dans le Chati central (Tabl. 19). L'exception de Mahrouga-Aïoune est justifiée par le fait que ce village, plus proche du Zellaf, est topographiquement plus bas que ceux qui l'entourent.

TABLEAU 19

Tableau comparatif du nombre de points d'eau des deux types principaux

| LOCALITÉS          | PUITS | AÏOUNE | LOCALITÉS           | PUITS | AÏOUNE |
|--------------------|-------|--------|---------------------|-------|--------|
| Ech-Kidha.....     | 18    | + 14   | Douissa.....        | 15 +  | 1      |
| Debdeb.....        | 17    | + 25   | Tarout.....         | 25 +  | 1      |
| Guira.....         | 37    | + 54   | Gotta.....          | 37 +  | 5      |
| Brak.....          |       | + 3    | Berguen.....        | 12 +  | 0      |
| Zellouaze.....     | 39    | + 48   | Bou Gadgoud.....    | 38 +  | 0      |
| Zouaya.....        | 38 +  | 37     | El Golla.....       | 21 +  | 0      |
| Tamzoua.....       | 37 +  | 36     | Hatya d'Ouenzèrik.. | 7 +   | 1      |
| Agar.....          | 11 +  | 1      | Ouenzèrik.....      | 7 +   | 1      |
| Maharouga-Bled.... | 32 +  | 13     | T'missan.....       | 25 +  | 17     |
| Maharouga-Aïoune.. | 12    | + 51   | Edri.....           | 20    | + 52   |
| Gorda.....         | 50 +  | 16     | Hatya d'Edri.....   | 1     | + 12   |

Les croix (+) situent la majorité. Totaux = 389 puits et 388 sources.

Les Italiens avaient inventorié 277 sources. Le nombre des points d'eau n'est pas, actuellement, connu avec exactitude. Nous nous sommes contentés de 1, 2 ou 3 prélèvements d'eau par village, suivant leur importance : toutes les fois que la possibilité se présentait, les prélèvements dans un même village, portèrent sur des points d'eau de types différents.

#### c) ETUDE DES CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET DYNAMIQUES

L'examen de la partie de gauche du relevé des points d'eaux analysées du Chati (Tabl. 20) permet de formuler quelques remarques :

TABLEAU 20

Relevé des points d'eau

| LOCALITES                        | N°<br>B.I.R.H | COTE<br>SOL | TEMPERATURES |       | DEBIT<br>l/sec. | COTE<br>PLAN D'EAU |
|----------------------------------|---------------|-------------|--------------|-------|-----------------|--------------------|
|                                  |               |             | EAU          | AIR   |                 |                    |
| Bir Gualmara .....               | 515           |             |              |       |                 |                    |
| Douessa I .....                  | 281           |             | 27°          | 19°   | 0,08            |                    |
| — II .....                       | 514           |             | 16°          | 23°   | 0,2             |                    |
| — III .....                      | 282           |             | 21°          | 20°   | 0,5             |                    |
| Ech-Kidha .....                  | 280           |             | 31°          | 15° 6 | 33              |                    |
| Debdeb : Sondage .....           | 540           | 370         | 37°          |       | 20              | 380,7              |
| Guira Aïn .....                  | 283           |             |              |       |                 |                    |
| Brak :                           |               |             |              |       |                 |                    |
| Aïn Kébir .....                  | 304           | 366         | 29° 8        | 14°   | 37,5            | 365,7              |
| Aouinette .....                  | 305           | 365         | 30° 8        | 17°   | 5,6             | 364,4              |
| Aïn Brou .....                   | 306           | 365         | 30° 2        | 16° 3 | 18              | 356                |
| Sondage Bizanti .....            | 532           |             | 26° 2        |       |                 |                    |
| Sondage Aïn En Neuf .....        | 542           | 372         |              |       | 37              | 380                |
| Zellouaze : Bir ben Djemma ..... | 284           | 397         |              |       |                 |                    |
| Agar :                           |               |             |              |       |                 |                    |
| Aïn Bled .....                   | 285           | 375,6       | 28°          | 22° 5 | 30,75           | 375,6              |
| Sondage n° 8 .....               | 286           | 381,8       | 27°          | 20°   | 1,7             | 381,5              |
| Sondage Pédologique .....        | 296           | 380         |              |       |                 | 379                |
| Sondage Sull. 200 .....          | 526           | 383         |              |       | 14              | 389                |
| Maharouga :                      |               |             |              |       |                 |                    |
| Aïn Bled .....                   | 287           | 365         | 25° 5        | 14° 9 | 4,7             | 364                |
| Aïoune (puits) .....             | 282           | 362         |              |       |                 | 356                |
| Aïn Touila .....                 | 289           | 376,6       | 27° 7        | 21°   | 3,77            | 376,5              |
| Sondage (DIB) .....              | 541           | 357         |              |       | 12,5            | 364                |
| Gorda :                          |               |             |              |       |                 |                    |
| Aïn Bled .....                   | 290           | 375         | 29° 5        | 23° 5 | 5,5             | 375                |
| Sondage .....                    | 539           | 350         |              |       | 22              | 370                |
| Douissa : Sondage .....          | 291           | 368,6       | 27° 5        | 19° 5 | 14,8            | 386                |
| Tarout :                         |               |             |              |       |                 |                    |
| Aïn Bled .....                   | 292           | 375         | 26°          | 13° 5 | 0,8             | 374,6              |
| Bir Mohamed ben Kaddour .....    | 293           | 375,1       |              |       |                 | 374                |
| Gotta :                          |               |             |              |       |                 |                    |
| Aïn Belgacem .....               | 294           | 368,6       | 19° 4        | 18°   | 0,3             | 369                |
| Sondage .....                    | 543           | 367         |              |       | 14,5            | 383                |
| Berguen :                        |               |             |              |       |                 |                    |
| Bir El Midha .....               | 307           | 388         | 20°          | 14°   |                 | 385,9              |
| Aïn Betroua .....                | 308           | 384         | 21° 2        | 19° 5 |                 | 383,5              |
| Sondage Bizanti .....            | 534           | 387         | 26° 4        |       | 0,63            | 387                |
| Bou Gadgoud :                    |               |             |              |       |                 |                    |
| Bir Mohamed ben Salem .....      | 310           | 392         | 22° 2        | 21° 8 |                 | 386,3              |
| Bir Hadj Salah .....             | 311           | 392         | 24° 4        | 20° 2 |                 | 382,7              |
| El Golla :                       |               |             |              |       |                 |                    |
| Puits Public .....               | 295           | 395         |              |       |                 | 383                |
| Bir Salah Kalifa .....           | 309           | 402         |              |       |                 | 394                |
| Ouenzerik :                      |               |             |              |       |                 |                    |
| Aïn Bled .....                   | 312           | 379         | 24° 4        | 20° 2 | 2,8             | 378,2              |
| Bir Hadj Riaha .....             | 313           | 372         | 21° 9        | 11°   |                 | 366,9              |
| Sondage .....                    | 546           | 372         |              |       | 14,5            | 393                |
| T'Missan :                       |               |             |              |       |                 |                    |
| Aïn Djedida .....                | 315           | 374         | 25° 9        | 25° 9 | 4               | 372,3              |
| Edri :                           |               |             |              |       |                 |                    |
| Aïn Tijitane .....               | 314           | 379         | 26° 9        | 20° 3 | 4,6             | 378,0              |
| Aïn Ta in Gacem .....            | 297           | 384,5       | 24°          | 9°    | 4,6             | 384                |
| Aïn Kemira .....                 | 298           | 398         |              |       |                 | 397                |
| Aïn Teret .....                  | 496           | 385         |              |       |                 |                    |
| Sebkhra .....                    | 504           | 372         |              |       |                 |                    |
| Hatya D'Edri :                   |               |             |              |       |                 |                    |
| Aïn et Tite .....                | 372           | 372         |              |       | 0,7             | 371,7              |
| Sondage .....                    | 547           | 412         |              |       |                 | 405                |

[illegible]

1° *Température des eaux.*

Un caractère général à tous ces points est la température élevée des eaux. Il résulte de nos observations que les températures d'eaux d'*aïoune* sont toutes plus élevées que celles d'eaux de puits : la rapidité de la circulation des eaux dans les premiers, met celles-ci relativement à l'abri des influences extérieures. On peut remarquer ainsi qu'une température élevée est, à peu près toujours, l'indice d'un débit relativement élevé.

Des mesures ont été effectuées afin de constater dans quelle proportion la température extérieure pouvait influencer celle d'eaux venant au jour. Elles ont été faites sur l'*aïn* principal de Brak qui, de tout le Chati, a le débit le plus fort : 37 l/sec. Réalisées du 24 janvier 1948 à 21 heures au 25 janvier à 21 heures, elles ont donné les résultats consignés dans le Tableau 21.

TABLEAU 21  
Tableau des variations comparées des températures

| HEURES D'OBSERVATIONS  | TEMPÉRATURES EXTÉRIEURES | TEMPÉRATURES DE L'EAU |
|------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 21 h. ....             | 11° 5                    | 30°                   |
| 0 h. 05 ....           | 9° 8                     | 29° 5                 |
| 3 h. 10 ....           | 6° 5                     | 29° 4                 |
| 6 h. ....              | minim. 3° 1              | minim. 29° 2          |
| 9 h. 20 ....           | 18°                      | 29° 4                 |
| 12 h. 15 ....          | 21° 3                    | maxim. 29° 9          |
| 15 h. 25 ....          | maxim. 24° 7             | 29° 9                 |
| 18 h. 30 ....          | 16°                      | 29° 6                 |
| 21 h. ....             | 10° 6                    | 29° 7                 |
| Amplitudes comparées : | 21° 6                    | et 0° 8               |

L'influence extérieure peut être considérée comme négligeable d'autant que les mesures ont été effectuées en une saison où celle-ci risquait d'être la plus sensible.

2° *Variations de niveaux statiques*

Dans un même village ou dans deux villages voisins, les *aïoune* ont des plans d'eau souvent plus élevés que ceux des puits proches, ceci dans des terrains identiques. A Maharouga, Ouenzérîk ou Edri, les niveaux de l'eau des sources artésiennes naturelles sont ainsi à 364, 378, 397 m., alors que ceux des puits voisins sont à 356, 367 et 379 m.

Durant les fonçages de puits et les forages, le niveau de l'eau va croissant jusqu'à être artésien et même à se trouver, comme à Ouenzérîk, supérieur à 21 m. par rapport au sol. A Hatya d'Edri, le niveau qui était à — 8 m. jusqu'à 120 m., est passé à — 6 m. 70 vers 150 m.



Les cotes absolues les plus élevées sont frappées de la même erreur possible dont sont frappées toutes les mesures altimétriques. Retenons cependant les niveaux les plus élevés pour avoir un ordre de grandeur : Hatya : 405 m., Ouenzèrik : 393 m., Agar : 389 m. environ, et que ces niveaux mêmes doivent être sous-évalués du fait que plusieurs couches de niveaux statiques différents sont au contact, donnant lieu à l'établissement d'un niveau statique moyen.

Au total, les venues d'eau sont donc, même localement, irrégulières. On ne peut pas tracer les courbes isopiézo-métriques, même équidistantes de 10 m. On a simplement la notion d'un niveau statique maximum observable vers l'O. (fig. 11) où affleurent les couches les plus anciennes. On a également la notion d'une suite de niveaux statiques de plus en plus éle-

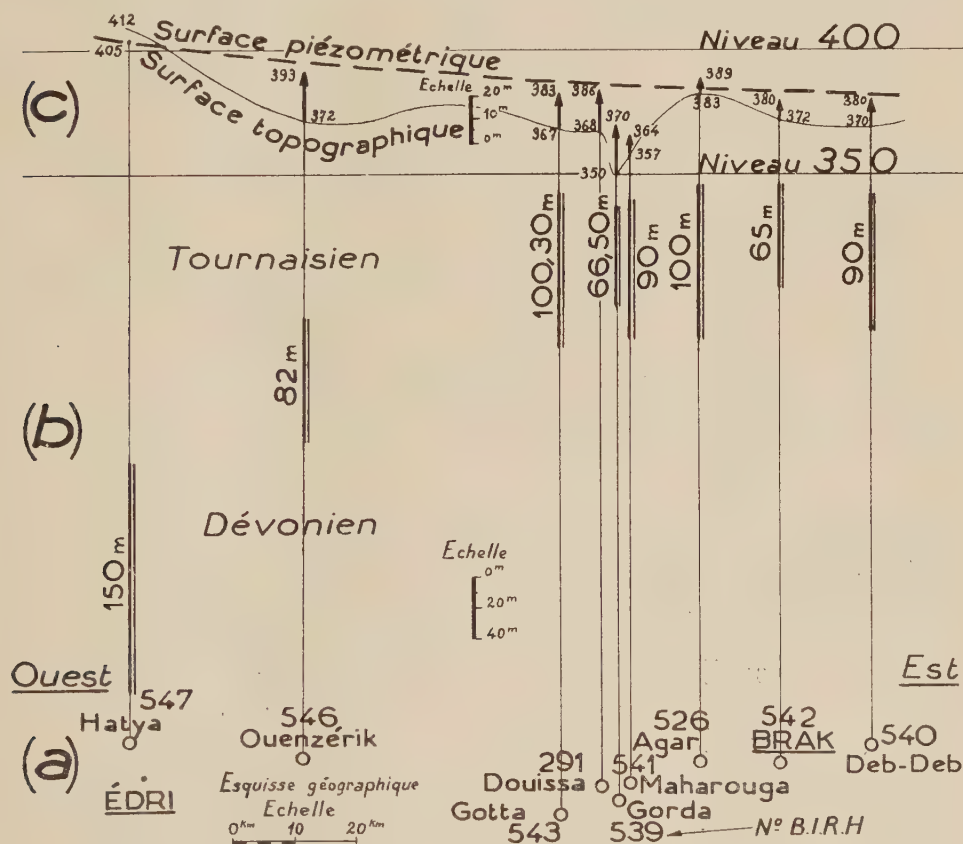


FIG. 11. — EMBLEMENTS APPROXIMATIFS DES COUPES DES FORAGES (b) DU CHATY DANS LA SÉRIE STRATIGRAPHIQUE SUIVANT LEURS POSITIONS GÉOGRAPHIQUES (a). Les horizons recoupés sont de plus en plus élevés vers l'Est. Niveaux topographiques et hydrostatiques (c) comparés : la surface d'équilibre est nettement inclinée vers l'Est même si l'on admet des variations possibles de 5 à 10 m. en plus ou en moins des cotes citées.

vés dans les autres forages, sans qu'il semble que la limite maximum ait été atteinte en aucun d'eux puisqu'aussi bien, comme nous allons le voir, pas plus que les débits, ils n'avaient atteint de valeurs stables.

### 3° Variations de débits

Le débit des points d'eau, puits ou sondages, est fonction de la profondeur du fond du trou : nous avons pu observer l'augmentation des débits au fur et à mesure de l'avancement du fonçage de puits indigènes durant lesquels le déblaiement de chaque dalle de grès provoque une recrudescence de suintements; une telle augmentation est particulièrement nette dans le cas des forages dont les débits artésiens permettaient des mesures périodiques.

Elles donnèrent les résultats suivants :

#### a) Gorda (n° 539) :

|             |           |
|-------------|-----------|
| à 22 m..... | 0,5 l/sec |
| 49,5.....   | 5         |
| 66,5.....   | 22        |

#### b) Deb-Deb (n° 540) :

|             |           |
|-------------|-----------|
| à 57 m..... | 0,5 l/sec |
| 59,30.....  | 3,1       |
| 60.....     | 3,5       |
| 61,30.....  | 3,7       |
| 63,30.....  | 4,9       |
| 69,30.....  | 5         |
| 75,60.....  | 6,8       |
| 81.....     | 12        |
| 83,70.....  | 13,8      |
| 85,50.....  | 14,5      |
| 90.....     | 20        |

#### c) Maharouga (n° 541) :

|             |           |
|-------------|-----------|
| à 40 m..... | 0,3 l/sec |
| 44.....     | 1,7       |
| 48,50.....  | 3         |
| 51,20.....  | 6,4       |
| 54,40.....  | 6,5       |
| 58,70.....  | 8,2       |
| 65,20.....  | 10        |
| 79,10.....  | 11,3      |
| 82,20.....  | 12        |
| 87,50.....  | 12,50     |
| 90.....     | 12,5      |

#### d) Brak (n° 542) :

|                |           |
|----------------|-----------|
| à 48,60 m..... | 0,4 l/sec |
| 62.....        | 35        |
| 65.....        | 36        |

e) *El Gotta* (n° 543) :

|             |            |
|-------------|------------|
| à 56 m..... | 0,25 l/sec |
| 60.....     | 2,5        |
| 67.....     | 8,25       |
| 73.....     | 10,8       |
| 88.....     | 11,6       |
| 98,30.....  | 14,5       |
| 100,8.....  | 14,5       |

f) *Ouenzérik* (n° 546) :

|             |           |
|-------------|-----------|
| à 51 m..... | 0,5 l/sec |
| 60.....     | 1,5       |
| 72.....     | 7         |
| 73,40.....  | 14        |
| 80.....     | 14        |
| 82.....     | 14,5      |

Il est évident que, dans ces variations de débit, plusieurs éléments importants nous échappent.

Les forages ne sont pas reliés topographiquement si bien que l'on n'a aucune idée exacte des positions relatives des emplacements les uns par rapport aux autres. Ils ne sont pas reliés stratigraphiquement, car les formations sub-horizontales d'une part, lenticulaires d'autre part, et les passages de faciès inobservés, empêchent de faire correspondre avec précision tels niveaux entre deux forages. Nous en sommes réduits dans ce domaine à des hypothèses.

Les perméabilités des terrains et les pertes de charge d'une couche à l'autre nous sont insuffisamment connues; nous n'avons pu mesurer les perméabilités et les rétentions spécifiques que sporadiquement (en fonction des niveaux carottés) dans les forages d'Ouenzérik, de Hatya d'Edri et de Gotta (Tabl. 22).

Les données obtenues nous fourniront des ordres de grandeur appréciables lorsqu'il s'agira d'aborder l'hydrologie : on peut constater d'ores et déjà que les moyennes indiquées sont plutôt celles de grès peu poreux (H. SCHOELLER, compte [116] une moyenne de 20 % pour la porosité des grès albiens) et d'une perméabilité extrêmement faible.

4° *Pertes latérales*

Au voisinage des points de grosses venues d'eau, points qui — *à priori* — sont les villages possédant un gros *ain* central ou comportant de nombreux *aïoune*, il y a cependant des « fuites » inévitables dans les terrains détritiques poreux tels que les sables d'apports récents. Ces fuites font que l'eau imprègne les terrains environnants et s'égaille vers les points bas. Les eaux sont, dans ce cas, de températures proches de la tempéra-

ture moyenne annuelle et, en général, à peu de distance de la surface du sol et salées. Elles « lavent » en effet, chemin faisant, les terrains et dissolvent les sels qu'ils contiennent : ceux-ci sont redéposés dans les zones

TABLEAU 22  
Résultats de quelques mesures effectuées sur des carottes de grès du Chati

| PROVENANCES                                             | PERMEABILITES <sup>1</sup> |           | POROSITÉ <sup>2</sup> | RÉTENTION <sup>2</sup> |
|---------------------------------------------------------|----------------------------|-----------|-----------------------|------------------------|
|                                                         | En<br>k = m/sec.           | En m/jour | absolue<br>m = %      | m' = %                 |
| <i>Forage de el Hatya (n° 547) :</i>                    |                            |           |                       |                        |
| Carottes :                                              |                            |           |                       |                        |
| entre 54 et 60 m.....                                   | 5.10 <sup>-6</sup>         | 0,48      | 15,2                  | 10,34                  |
| 60 et 70 m.....                                         | 1,5.10 <sup>-7</sup>       | 0,12      | 15,2                  | 10,12                  |
| à 103 m.....                                            | 3,5.10 <sup>-6</sup>       | 0,3       | 23,4                  | 14,1                   |
| 105 m.....                                              | 8.10 <sup>-6</sup>         | 0,75      | 20,8                  | 14,3                   |
| 110 m.....                                              | 2.10 <sup>-6</sup>         | 0,16      | 17,6                  | 13,8                   |
| 142 m.....                                              | 8.10 <sup>-6</sup>         | 0,75      | 24                    | 12                     |
| <i>Forage d'Ouenzèrik (n° 546) :</i>                    |                            |           |                       |                        |
| Carottes :                                              |                            |           |                       |                        |
| à 52 m.....                                             | 2.10 <sup>-8</sup>         | 0,02      | 5,6                   | 4,5                    |
| 60 m.....                                               | 3,5.10 <sup>-8</sup>       | 0,03      | 10,4                  | 5,3                    |
| 72 m.....                                               | 2.10 <sup>-6</sup>         | 0,15      | 9,8                   | 5                      |
| 74 m.....                                               | 6.10 <sup>-9</sup>         | 0,006     | 5,6                   | 3,4                    |
| <i>Forage de Gotta (n° 543) :</i>                       |                            |           |                       |                        |
| Carotte :                                               |                            |           |                       |                        |
| à 66,5 m.....                                           | 2.10 <sup>-5</sup>         | 1,5       | 33,2                  | 19,4                   |
| Moyennes.....                                           |                            | 0,479     | 16,4                  | 10,29                  |
| Moyenne « porosité utile <sup>2</sup> »<br>m'' = %..... |                            |           | 6,1                   |                        |

1. — Les mesures ont été effectuées sous de très faibles Δh qui ont permis de rester dans l'intervalle linéaire de la fonction Q (h).

2. — Pourcentage d'eau pour un volume apparent de sol sec.

d'évaporation. Il y a ainsi une auto-concentration des sels du voisinage. C'est ce mécanisme qui est à la base de la formation des interminables sebkhras (Pl. XIX, fig 6) qui, d'une façon absolument générale, bordent en aval toutes les agglomérations du Chati et le Chati lui-même en bordure du Zellaf. Sur la bordure sud du Chati, l'ouadi Zellaf dont le tracé correspond à une immense sebkhra (Pl. XIX, fig. 3), draine une zone où les terrains perméables sont particulièrement abondants et où doivent se perdre des venues d'eau qui alimentent toute la végétation sauvage qu'on y rencontre.



A ces eaux qui se sont égaillées latéralement avant d'arriver à la surface, et cela peut se produire en dehors des zones de villages, s'ajoutent, pour une plus faible part, les eaux d'irrigation qui, presque toujours mises en excès par les indigènes qui ne savent pas doser,aturent la tranche plus ou moins faible des terrains perméables sous-jacents.

EN RESUME, par la seule observation des faits, on peut considérer que deux types de nappes coexistent au Chati :

1° essentiellement une série de *nappes captives*, empilées, dont les manifestations peuvent être irrégulières, fonction du colmatage des couches, des fissures, des terrains de recouvrement et d'une charge suffisante (topographie, niveau stratigraphique plus ou moins élevé) pour donner quelques fois de l'eau artésienne et partout de l'eau ascendante.

2° localement, une *nappe superficielle* alimentée par les eaux profondes et les colatures.

Militent en faveur de cette conception :

— la température élevée des eaux et leur indifférence aux amplitudes de surface;

— la localisation des venues d'eau;

— l'augmentation du débit au-fur-et-à-mesure de l'approfondissement;

— l'irrégularité du niveau d'équilibre qui, par ailleurs, s'élève alors qu'on s'adresse à des niveaux aquifères de plus en plus profonds, ceci jusqu'à une limite qui apparaît peut-être vers Hatya d'Edri;

— la salure et la température des eaux qui se trouvent en aval des émergences.

#### d) ETUDE DES CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

##### 1. — *Teneurs en sels — Résidus secs*

Nous pouvons constater en premier lieu (voir la partie de droite du Tableau 20) que les eaux dont les résidus secs sont minima, correspondent aux points à gros débits, tous artésiens, donc ayant des eaux, comme nous l'avons vu, de températures plus élevées (Tabl. 23).

Ces résidus secs sont très faibles : signalons que l'eau de Zaghouan, couramment consommée à Tunis, a un résidu sec moyen de 700 mg/l.

Corollaire normal, l'eau des puits est généralement et nettement plus chargée que celle des *aïoune* : le résidu sec reste inférieur à 4.000 mg/l qui est une limite très acceptable, la plupart du temps dépassée en Tunisie. Ce fait trahit, pour l'eau des puits, une circulation plus lente et plus difficile que pour celle des *aïoune*.

TABLEAU 23  
Tableau des aïoune à gros débits

| LOCALITES      | N° B.I.R.H. | Débit l/sec. | Résidu sec mg/l | Température |
|----------------|-------------|--------------|-----------------|-------------|
| Ech-Kidha..... | 280         | 33           | 720             | 31°         |
| Brak.....      | 304         | 37,5         | 340             | 29° 8       |
|                | 306         | 18           | 370             | 30° 2       |
| Agar.....      | 285         | 30,75        | 500             | 28°         |

Toujours sur le plan général, on peut encore faire remarquer la faiblesse et la constance des teneurs en ions carbonates ( $\text{CO}_3$ ) qui excèdent exceptionnellement 95 mg/l et sont, en général, voisins de 60 à 70 mg/l. Ce fait est l'indice d'eaux profondes par opposition aux eaux superficielles provenant des pluies et ruisselant ou imprégnant des terres végétales.

Signalons enfin que, quelque soit la façon dont se présentent les points d'eau, on peut souvent observer à leurs abords des dépôts ferrugineux. Les eaux ont des teneurs en ions Fe qui varient de 8 à 12 mg/l : elles laissent partout des traces rouilles ce qui trahit, pour la roche magasin, un milieu probablement réducteur, peu aéré (sans oxygène). C'est à elles que serait dû le caractère très anémiant d'un séjour au Chati, à Brak tout particulièrement.

## 2. — Principe de l'étude des résultats d'analyse

Nous nous permettons de rappeler brièvement qu'un des principes qui préside à l'élaboration d'une étude hydrologique est basé sur le fait qu'une eau d'une nappe est, en général, caractérisée par des courbes logarithmiques superposables. Et c'est sur cette identité ou sur la constance de certains rapports entre anions et cations, qu'on se base pour établir l'unité ou la différence des systèmes hydrauliques étudiés.

Les courbes logarithmiques sont tracées sur les diagrammes logarithmiques de H. SCHOELLER. Leur simple observation peut permettre des constatations que nous résumerons rapidement.

Ils sont constitués par des droites verticales, équidistantes sur lesquelles sont portés les logarithmes des millivalences des différents ions dosés. La millivalence d'un élément étant égale au produit du poids en milligrammes de celui-ci entrant dans la composition d'un litre d'eau, par sa valence, divisé par son poids atomique, on a ainsi :

$$\text{Millivalence} = \frac{\text{Poids (en mg)} \times \text{Valence}}{\text{Poids atomique}}$$

ou :

$$\log. \text{ Milliv.} = \log. \text{ Poids (mg)} + \log. \text{ Valence} - \log. \text{ Poids atomique.}$$

Les origines de chacune des droites logarithmiques correspondant à chacun des ions étudiés, sont décalées d'une valeur égale au logarithme de l'*équivalent chimique* de cet ion, valeur qui correspond à une constante pour l'ion considéré. En effet :

$$\log. \text{ Milliv.} = \log. \text{ Poids (mg)} - \text{Constante}$$

$$\text{Constante} = \log. \text{ Poids atom.} - \log. \text{ Valence.}$$

$$\text{Constante} = \log. \frac{\text{Poids atom.}}{\text{Valence}} = \log. \text{ des } \textit{équivalents chimiques}.$$

Il en résulte que chaque verticale est ainsi graduée en milligrammes (les distances séparant deux nombres consécutifs étant toutefois proportionnelles au logarithme de ces nombres); ce qui permet de consigner directement le dosage d'un corps. De plus, les différentes valeurs se trouvant sur une même horizontale, correspondent à une même millivalence définie, commune à toutes ces valeurs : de la sorte on peut procéder très rapidement aux correspondances ioniques. E. BERKALOFF mit le diagramme dans sa forme actuelle qui permet d'obtenir d'autres renseignements intéressants pour l'hydraulicien.

Lorsque des eaux vont en se concentrant ou en se diluant, la teneur des différents éléments augmente ou diminue dans la même proportion que la concentration, alors que les rapports qui existent entre eux, restent constants. Ceci se traduit sur les diagrammes par des déplacements des courbes qui restent parallèles à elles-mêmes, déplacements proportionnels au logarithme de la concentration.

Une eau se concentre par évaporation ou bien par circulation dans les terrains qu'elle lave et dont elle dissout des substances nouvelles. Elle peut refléter quelquefois des anomalies dues à la présence, au sein de la roche, de zones plus riches en tel sel.

Une eau se dilue par mélange avec une autre eau plus ou moins chargée mais qui modifie, souvent d'une façon très nette, le caractère chimique initial. Il en va ainsi lorsque deux nappes chimiquement différenciées, viennent en contact, donnant par leur mélange et la superposition de leurs caractères propres, une eau d'un caractère chimique nouveau.

### 3. — *Etudes des diagrammes et des résultats d'analyses*

L'étude des courbes d'analyses consignées sur les diagrammes va nous permettre d'arriver à certaines conclusions et de retracer l'évolution des eaux durant leur cheminement vers la surface.

Sur la figure 12 sont figurées des analyses d'eaux de points se trouvant aux extrêmes du Chati : Brak (n° 304, courbes 1 et 1 bis), Ouenzérîk (n° 313, courbe 2), T'missan (n° 315, courbe 3) et Edri (n° 297, courbe 4).

Nous pouvons constater que le parallélisme des divers éléments des courbes est presque rigoureux : elles dérivent les unes des autres par un

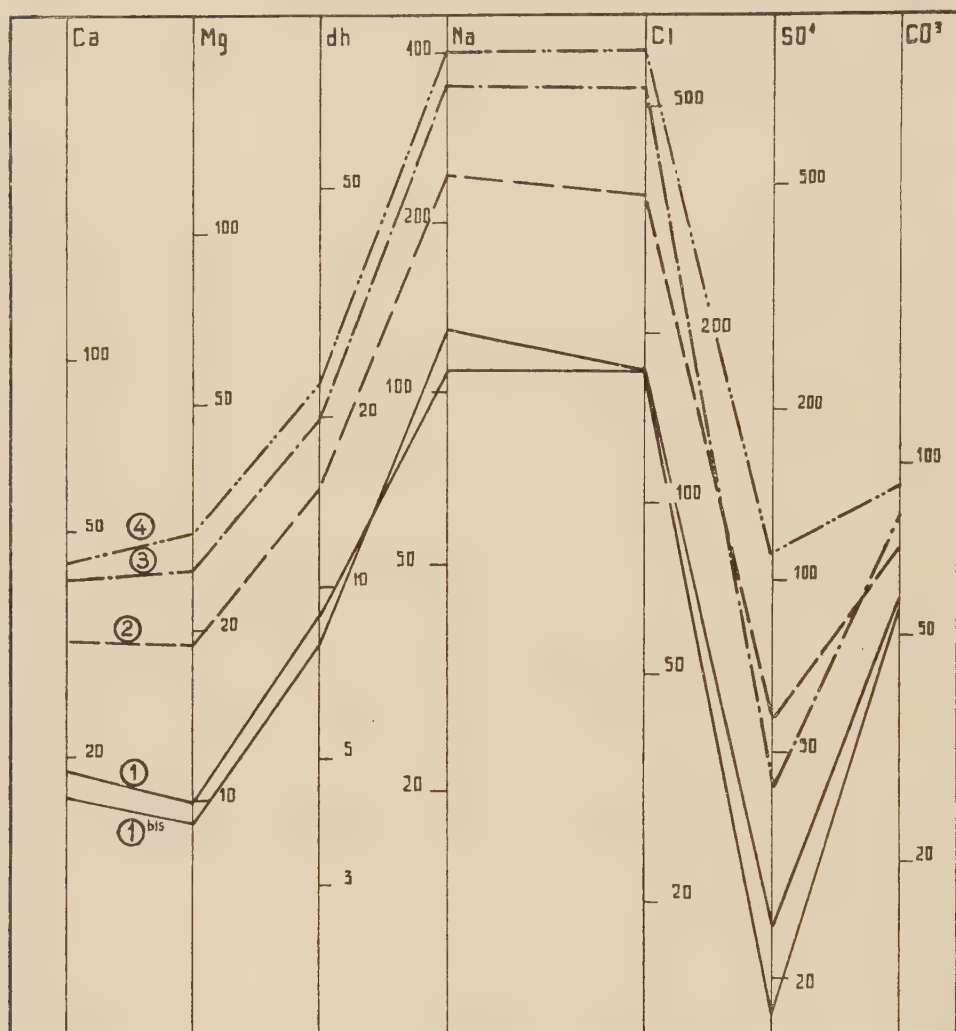


FIG. 12. — EAUX DU CHATI. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.

1 : 304 (Brak). — 1 bis : 304 bis (Brak). — 2 : 313 (Ouenzérick). — 3 : 315 (T'missan). — 4 : 297 (Edri).

mouvement de translation dans le sens de la concentration qui augmente de Brak vers Edri. L'origine de toutes ces eaux est commune et leurs salures résultent de leur circulation plus ou moins rapide dans les terrains traversés : le débit très fort à Brak est, en effet, nettement plus faible aux autres endroits.

Une anomalie existe dans le tracé de la courbe 3 (T'missan) qui trahit un léger affaiblissement de la teneur en ions SO<sub>4</sub>.



Les  $r\%$ <sup>1</sup> des ions de toutes ces eaux sont pratiquement égales (Tableau 24) aux erreurs dues à la manipulation chimique près. Il faut, en effet, préciser dès à présent, que les analyses des eaux du Fezzan seront souvent sujettes à des imprécisions : la méthode d'analyse, qui est excellente pour les eaux moyennes de Tunisie chargées de 2 ou 3 g/l en général et souvent plus, devrait porter, pour être précise avec ces eaux très peu chargées, sur 5 litres d'eau qui seraient concentrées par évaporation. Or, les analyses ont toujours porté sur des prélèvements de 75 centilitres à 1 litre. Les tableaux présentant les  $r\%$  dans les eaux étudiées, ont surtout pour but de voir si l'équilibre ionique est réalisé ou acceptable, et ainsi de constater si telle analyse est utilisable ou non.

TABLEAU 24

Tableau des  $r\%$  dans les eaux du diagramme de la figure 12

| n° B.I.R.H.                 | 304  | 313  | 315  | 297  |
|-----------------------------|------|------|------|------|
| $r\%$ Ca.....               | 6,8  | 5,8  | 5,4  | 4,9  |
| $r\%$ Mg.....               | 6,1  | 5,8  | 5,7  | 6,6  |
| $r\%$ Na.....               | 37,4 | 38,7 | 39,6 | 38,5 |
| TOTAL cations.....          | 50,3 | 50,3 | 50,7 | 50   |
| $r\%$ Cl.....               | 37,4 | 38   | 39,6 | 38,5 |
| $r\%$ SO <sup>4</sup> ..... | 2,6  | 4,1  | 2,4  | 5,2  |
| $r\%$ CO <sup>3</sup> ..... | 10,6 | 8,3  | 7,1  | 7    |
| TOTAL anions.....           | 50,6 | 50,5 | 49,1 | 50,7 |

On peut constater d'après le tableau mentionné, l'homogénéité remarquable de la salure des terrains du Chati.

Malgré les distances qui séparent ces points et le fait qu'ils se trouvent tous dans des horizons et des étages différents, tantôt continentaux, tantôt marins, on décèle une unité qui sera de plus en plus nette.

Nous retrouvons les mêmes caractères dans le diagramme de la figure 13 où sont consignées les eaux de Brak (n° 306, courbes 1 et 1 bis), Maharouga (n° 289, courbe 2), Godra (n° 290, courbe 3), Douissa (n° 291, courbe 4) et Agar (n° 526, courbe 5).

Comme précédemment, l'eau de Brak a très légèrement changé de caractère chimique. Par rapport à elle, les eaux de Maharouga et de Gorda,

1. — Depuis H. STABLER, on désigne quantité en réaction pour cent par le symbole  $r\%$ .

dont les *aïoune* ont un débit inférieur à celui de Brak, sont plus chargées en sulfate de magnésium.

Les eaux de Douissa et de Agar présentent des tracés remarquables. Dans les deux cas, les prélèvements ont été effectués à l'ouverture des son-

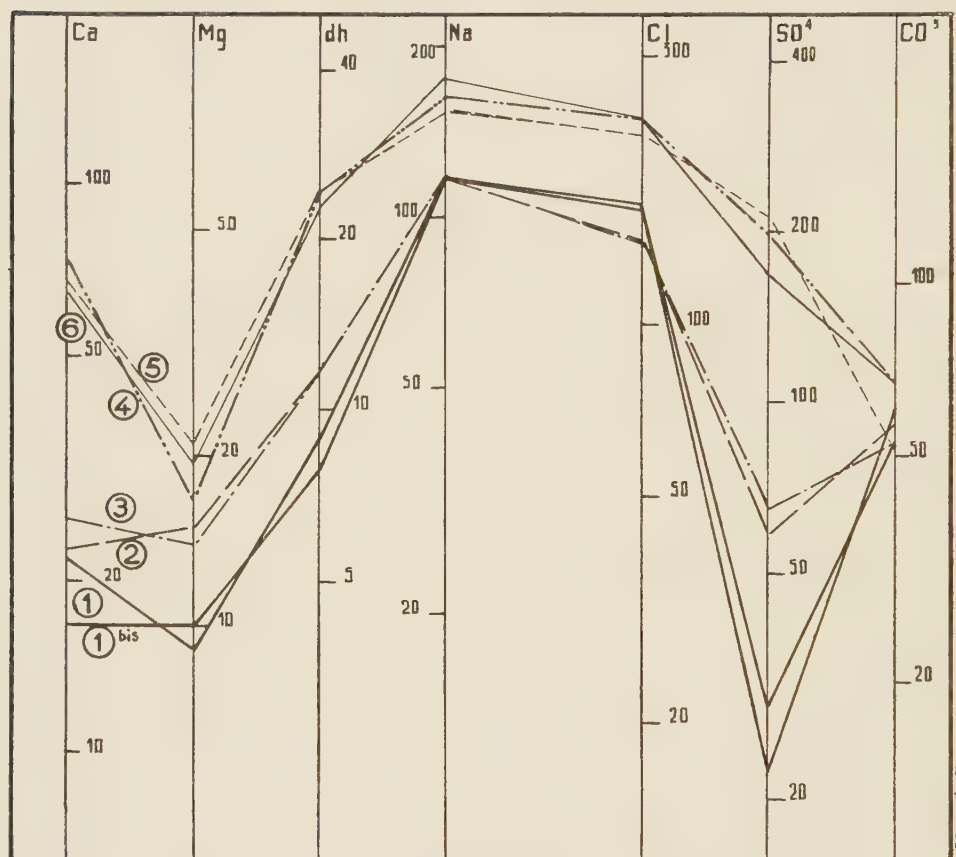


FIG. 13. — EAUX DU CHATI. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.

1 : 306 (Brak). — 1 bis : 306 bis (Brak). — 2 : 289 (Maharouga). — 3 : 290 (Gorda). — 4 : 291 (Douissa, 1948). — 5 : 526 (Agar). — 6 : 291 bis (Douissa, 1949).

dages : les eaux sont parfaitement identiques (résidus secs de 764 mg/l) et trahissent une dissolution, communément observée en pareil cas, de  $\text{SO}_4 \text{ Ca}$  en plus de la concentration dont elles sont l'objet par rapport aux autres courbes.

Cependant, après un an d'écoulement, on peut remarquer sur le Tableau 20, que le résidu sec de l'eau de Douissa a diminué, passant de 764 à 746 mg/l alors que les sulfates passent de 198 à 166 mg/l.

La figure 14 comporte les tracés d'eau de Gotta (n° 294, courbe 1), de Guira (n° 283, courbe 2), de El Golla (n° 295, courbe 3), et de Tarout n° 293, courbe 4).

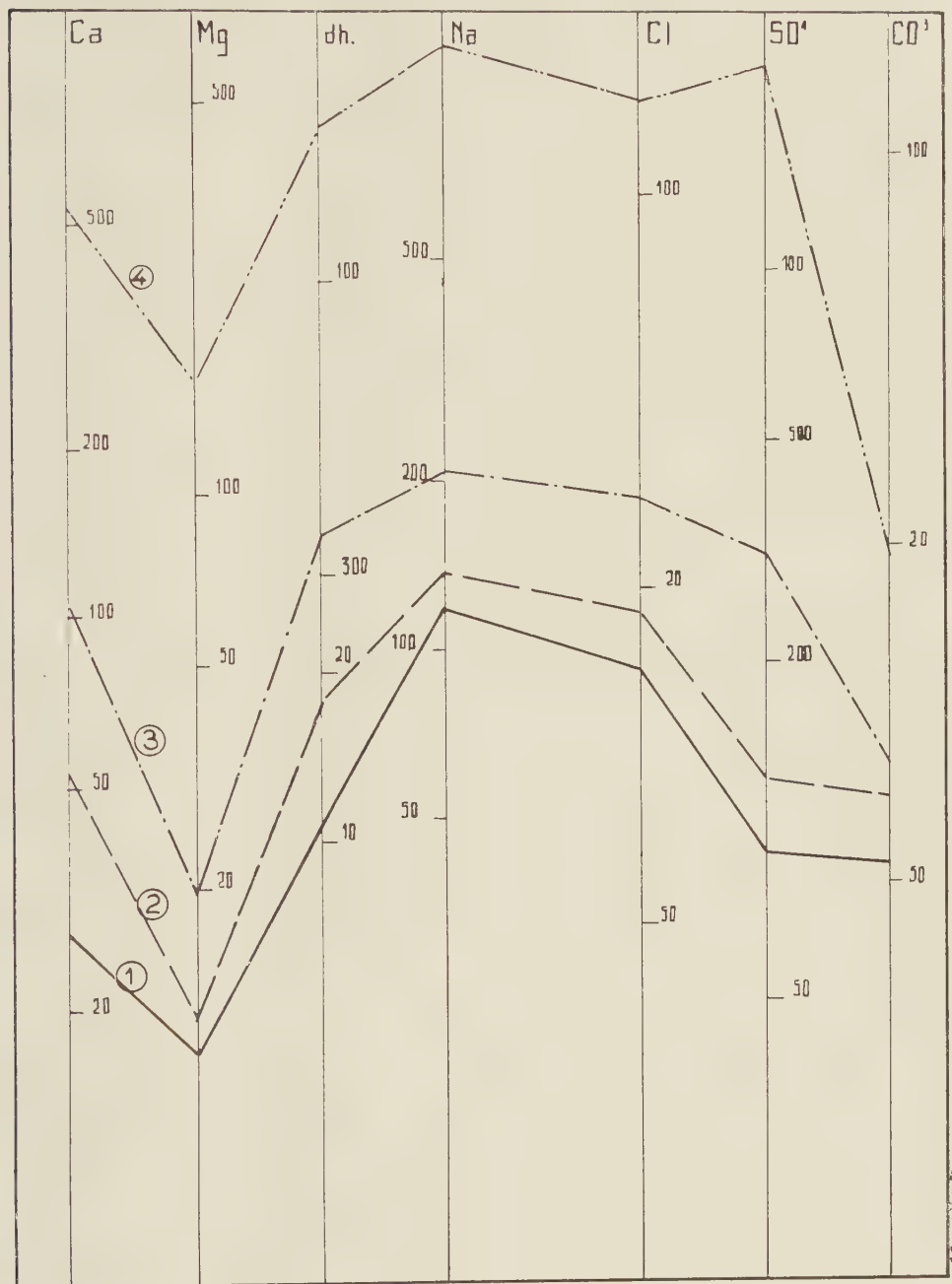


FIG. 14. — EAUX DU CHATI. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.  
1 : 294 (Gotta). — 2 : 283 (Guira). — 3 : 295 (El Golla). — 4 : 293 (Tarout).

Les eaux de El Golla et de Tarout proviennent de puits. Celui de Tarout, en repos depuis quelques temps, a donné une eau très concentrée de même nature que les autres, avec une très nette augmentation de la teneur en ions  $\text{SO}_4$ . Le rapport  $\text{SO}_4/\text{Cl}$ , qui était inférieur à 1 pour les *aïoune*, devient progressivement supérieur à 1.

On peut constater que les eaux des *aïoune* de Gotta et Guira sont moins chargées que les autres et même que le résidu sec de Gotta, qui a un débit supérieur à Guira, est inférieur à ce dernier.

Sur la figure 15, sont représentées des eaux de Brak (n° 305, courbes 1 et 1 bis), de Tarout (n° 292, courbe 2), de bou Gadgoud (n° 310, courbe 3), et de El Golla (n° 309, courbe 4).

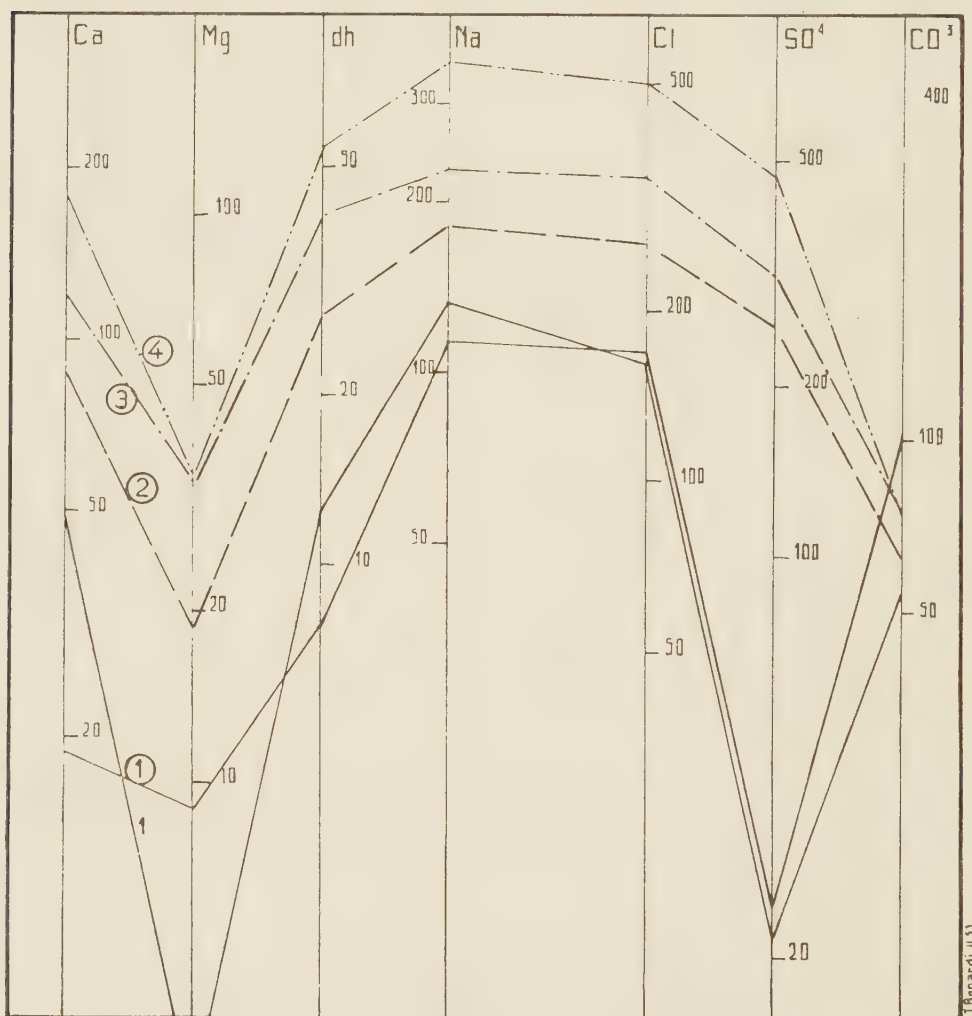


FIG. 15. — EAUX DU CHAT. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.

1 : 305 (Brak). — 1 bis : 305 bis (Brak). — 2 : 292 (Tarout). — 3 : 310 (Bou Gadgoud). — 4 : 309 (El Golla).



Là encore ce sont les *aïoune* de Brak et Tarout qui ont les eaux de plus faible résidu sec. Le mouvement dans le sens de la concentration des courbes 2, 3, 4 est remarquable; comme le montre le Tableau 25, les pourcentages d'ions restent presque rigoureusement identiques et les concentrations en Equivalents ont des valeurs croissantes.

Les quantités en réaction des ions  $\text{CO}^3$  varient dans des limites très étroites; de ce fait, leurs  $r\%$  vont en diminuant régulièrement avec l'augmentation du résidu sec ou encore de la concentration en Equivalents. Les tracés précédents peuvent découler, de lui, de l'eau 305 de Brak (fig. 15, courbe 1) par dissolution de  $\text{SO}^4 \text{ Ca}$  et  $\text{SO}^4 \text{ Mg}$ ; mais une anomalie existe dans les eaux mêmes de l'Aïn 305.

La courbe 1 bis trahit, après un an, une variation dans la qualité de l'eau; prédominance nette d'ions  $\text{Ca}$  et  $\text{CO}^3$  et diminution de la teneur en ions  $\text{Mg}$ . Ce phénomène, qui ne s'est pas étendu aux autres eaux (n° 304 et 306 des *aïoune* à débits plus élevés que celui-ci) doit être très localisé et sans grande importance; mais il nous donne la mesure des variations auxquelles peut être soumise l'eau d'une nappe qui, pour se manifester, doit percoler à travers des terrains différents de la roche magasin. Tout ceci dit sans perdre de vue la possibilité d'erreurs ou d'imprécisions dans l'analyse chimique.

TABLEAU 25

Tableau des  $r\%$  dans les eaux du diagramme de la figure 15

| n° B.I.R.H.                    | 305   | 292  | 310  | 309  |
|--------------------------------|-------|------|------|------|
| $r\% \text{ Ca}$ .....         | 6,35  | 15,2 | 15,9 | 16,3 |
| $r\% \text{ Mg}$ .....         | 5,7   | 5,5  | 7,4  | 5,4  |
| $r\% \text{ Na}$ .....         | 37,4  | 27,7 | 26,5 | 29,1 |
| TOTAL cations.....             | 49,45 | 48,4 | 49,8 | 50,8 |
| $r\% \text{ Cl}$ .....         | 35,7  | 26,5 | 26   | 26,4 |
| $r\% \text{ SO}^4$ .....       | 3     | 18,6 | 17,5 | 17,8 |
| $r\% \text{ CO}^3$ .....       | 10,7  | 7,2  | 6,3  | 4,7  |
| TOTAL anions.....              | 49,4  | 51,4 | 49,8 | 48,9 |
| Concentration en équivalents.. | 14,95 | 28,9 | 37,6 | 54,9 |

Enfin, sur la figure 16, ont été reportées les analyses des eaux de Agar (n° 285, courbe 1), Zellouaze (n° 284, courbe 2), Ech Kidha (n° 280, courbe 3) et Douessa (n° 281, courbe 4).

Les tracés sont relativement bien groupés mais laissent paraître une assez grande diversité de détails : eau sulfatée de Zellouaze (courbe 2), eaux magnésiennes de Ech Kidha et Douessa (le rapport Mg/Ca est supérieur à 1).

Les teneurs en ions Na et  $\text{CO}^3$  varient cependant dans les limites assez étroites.

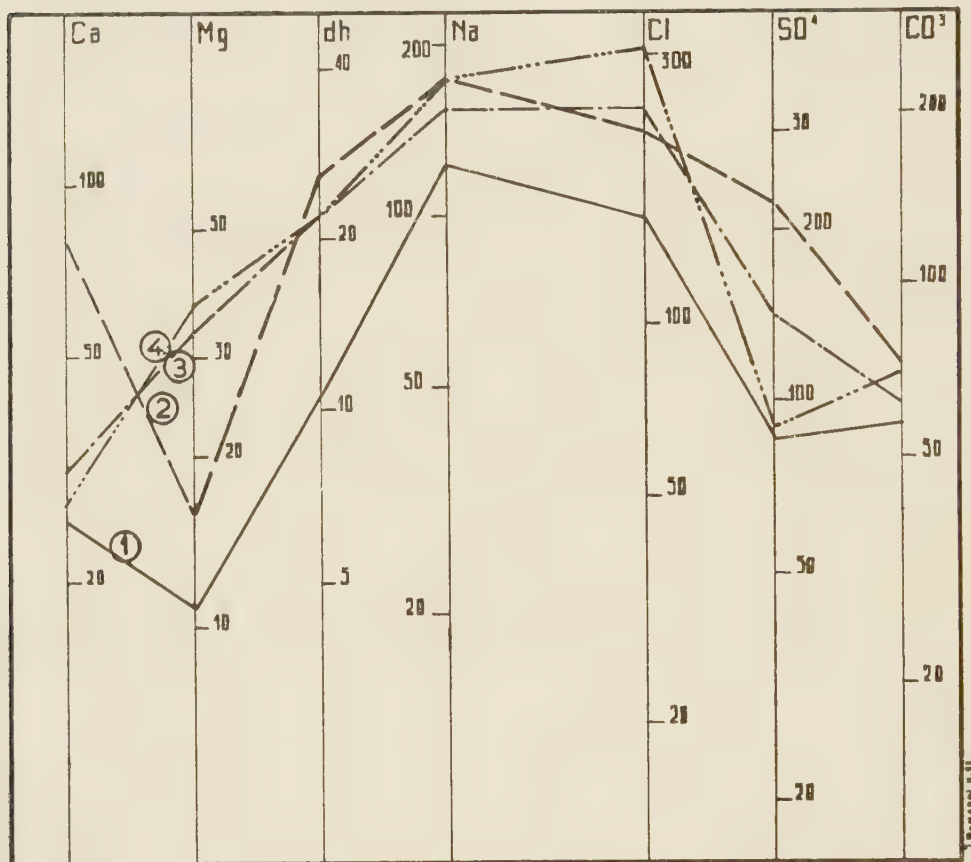


FIG. 16. — EAUX DU CHATI. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.  
1 : 285 (Agar). — 2 : 284 (Zélouaze). — 3 : 280 (Ech Kidha). — 4 : 281 (Douessa).

4. — EN RÉSUMÉ, cette étude met en relief l'identité des caractères chimiques de cette région. Malgré les épaisseurs traversées qui, par la température de certaines eaux doivent être assez grandes, ces caractères sont peu déformés par le passage dans des couches lithologiquement et stratigraphiquement différentes : ils se maintiennent nettement lors des concentrations. Leur homogénéité, d'une extrémité à l'autre du Chati et du sommet à la base de la série carboniféro-dévonienne, jointe aux observations déjà consignées, nous permet de formuler l'hypothèse d'un système hydraulique unique, chimiquement homogène qui, vers la surface du sol, en

fonction des terrains de recouvrement, peut acquérir quelques particularités de salure. Sur le plan chimique, on peut noter que l'ouverture d'un sondage provoque dans les eaux un accroissement de la teneur en ions  $\text{SO}_4$  et en ions alcalino-terreux (surtout Ca). C'est globalement par un accroissement analogue que se différencient les eaux des puits de celles des *aïoune*. En ce qui concerne les sondages, cet accroissement se résorbe avec le temps en fonction du débit et, par conséquent, de la vitesse de circulation dans les couches magasins.

### 3. — HYDROGÉOLOGIE

Pour définir ce système, il reste encore à préciser de nombreux points tels que : caractères de la roche-magasin, sa cote, niveau statique de la nappe, son débit, son alimentation, ses réserves, son débit théorique possible, une exploitation appropriée, etc...

#### a) CARACTÈRES ET COTE DE LA ROCHE-MAGASIN

Les eaux apparaissent comme étant, à l'origine, peu chargées en sels (témoins les *aïoune* importants : fort débit, forte température, faible résidu sec...); c'est l'indice que les terrains-magasins sont eux-mêmes très peu chargés en sels de sodium, gypse, sels de magnésium, bicarbonates; ils ont donc été probablement très lessivés comme ont dû l'être les dépôts continentaux dévoniens et tournaisiens.

1° *D'après les données géologiques*, les deux seules séries gréseuses de quelque importance (il n'y a pas, à notre connaissance, de séries calcaires anté-dinantiennes), inférieures à la série dinantienne, sont les grès homologues de ceux de l'Akakous-Tadrart (Gothlandien supérieur et Dévonien) et les grès homologues de ceux du Tassili (Silurien inférieur).

Les puissances des différentes couches (régions de Serdelès-Ghat), sont :

|                                                     |        |
|-----------------------------------------------------|--------|
| Grès du Tassili (p. 23).....                        | 500 m. |
| Argiles du Tanezzouft (p. 28).....                  | 200 m. |
| Grès de l'Akakous (p. 28).....                      | 250 m. |
| Série gréseuse sans fossile de Serdelès (p. 30).... | 150 m. |

Ainsi, sous la série relevée au Chati, l'équivalent des grès de l'Akakous, essentiellement gothlandiens supérieurs et dévoniens, correspondant partiellement ou non aux grès des Gargafs, se trouverait à environ 100 m. de profondeur dans la région d'Edri, alors que l'équivalent des grès du Tassili s'y trouverait à environ 500 m. Les cotes de ces deux séries gréseuses

sont ainsi situées globalement, aux variations de puissances possibles près, mais qu'aucun fait ne rend perceptibles. Rappelons seulement que si dans l'Akakous, vers Serdelès, les grès gothlandiens et dévoniens ont environ 400 m. d'épaisseur, il y a lacune de ces mêmes couches à 80 km. de là, vers le N.

P. BELLAIR, estime qu'au point le plus favorisé, le toit des grès du Tassili (Silurien inférieur) est à moins de 200 m. [8, p. 23]

2° *L'étude des températures* des eaux peut amener quelques éléments d'appréciation.

Les eaux du Chati ont, en effet, des températures le plus souvent voisines de 27°. La plus élevée atteint 31° (Ech Kidha, n° 280, 33 l/sec.), celle de Brak étant à 30° 8. Nous avons démontré leur indifférence aux variations extérieures, nous basant en partie sur ce fait pour établir leur origine profonde. En admettant que ces températures maxima relevées soient la meilleure image de celle de l'eau de la nappe, elles trahiraient pour celle-ci une profondeur globalement supérieure à environ 200 m.

Cette évaluation est donnée en nous basant sur certaines observations faites en Tunisie et qui ont été consignées dans le Tableau 26. Signalons que pour tous les points d'eau cités dans celui-ci, l'alimentation peut se faire aussi à partir de terrains inférieurs aux couches exploitées; les chiffres indiqués peuvent donc être légèrement surévalués pour la profondeur mentionnée, alors que ceux que nous avons au Chati, en surface sont, au contraire, sous-évalués.

TABLEAU 26

Tableau des températures d'eaux du Sud Tunisien

| LOCALITES           | n° B.I.R.H.          | PRONFONDEUR<br>DE LA NAPPE | TEMPE-<br>RATURE<br>DE L'EAU | MODE<br>DE DÉBIT |
|---------------------|----------------------|----------------------------|------------------------------|------------------|
| Tozeur.....         | 5.289                | Entre 200 et 360 m.        | 32°                          | Artésien         |
| El Hamma du Djerid. | 5.222                | Entre 200 et 321 m.        | 36°                          | Artésien         |
| Adaras.....         | 5.356                | Toit à 61 m.               | 23°                          | Artésien         |
| Zarzis.....         | 60                   | Toit à 229 m.              | 31°                          | Artésien         |
| Zarzis.....         | 3.147                | Toit à 203 m.              | 31°                          | Artésien         |
| Zarzis.....         | 1.460 <sup>bis</sup> | Toit à 224 m.              | 30° 6                        | Artésien         |
| Rherdgaïa.....      | 2.543                | Entre 476 et 551,20        | 31° 5                        | Artésien         |

D'après les principes de la thermométrie, on aurait des résultats théoriques concordants. En effet, la température d'une nappe peut être considérée comme étant égale à la température moyenne en surface, augmentée



de 1° pour chaque tranche de 28 à 30 m. de profondeur (cette tranche tendant à être plus faible dans les régions très faillées ou très plissées, où elle peut n'être alors que de 25 m.). Au Fezzan, les températures moyennes de 1945-1946 sont de 21° 6 et 22°. Pour 31°, la profondeur de la nappe se situerait à 250 m. au minimum. Toutefois, à Traghem, dans le Hofra, les eaux ont, à 30 mètres, une température uniforme de 26°. Sur cette base, les calculs donnent, pour 31°, une profondeur de 150 m. environ.

Les terrains-magasins sont donc les grès dévoniens des Gargafs qui affleurent dans le Chati occidental où les températures s'abaissent par rapport à celles du Chati oriental; là, les grès dévoniens des Gargafs affleurent à environ 5 à 10 km. plus au N. Notons cependant que, même à Hatya d'Edri où le forage est foncé dans les grès dévoniens, les variations du niveau d'équilibre survenues durant l'avancement, témoignent de ce que la roche-magasin n'avait pas encore été atteinte.

#### b) NIVEAU STATIQUE DE LA NAPPE

Les forages nous donnent les renseignements (ordre de grandeur) les plus intéressants, puisqu'ils s'adressent aux couches profondes qui donnent les niveaux statiques les plus élevés. Comme il fallait s'y attendre, ce sont ceux qui se trouvent dans le Chati occidental qui donnent les niveaux maxima.

Les mesures altimétriques ont toutes chances de donner un ordre d'idée valables car elles ont été vérifiées en plusieurs occasions (Tableau 27). L'incohérence des niveaux d'équilibre ne peut d'ailleurs aller qu'en s'acroissant vers le Chati oriental puisque dans cette direction se trouvent les cou-

TABLEAU 27  
Niveaux statiques des forages du Chati

| COTES ABSOLUES<br>PAR RAPPORT<br>au niveau de la mer | HATYA<br>D'EDRI<br>(547) | OUENZÉRIK<br>(546) | GOTTA<br>(543) | DOUISSA<br>(291) | GORDA<br>(539) | MAHAROUGA<br>(541) | BRAK,<br>AIN-NEUQF<br>(542) | AGAR<br>(526) | DEBDEB<br>(540) |
|------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------|----------------|------------------|----------------|--------------------|-----------------------------|---------------|-----------------|
| Niveau statique.....                                 | 405,30                   | 393                | 383            | 386              | 370 ?          | 364 ?              | 380                         | 398           | 380,75          |
| Niveau sol.....                                      | 412                      | 372                | 367            | 368              | 350 ?          | 357                | 372                         | 383           | 370             |
| Niveau fond du trou.                                 | 262                      | 290                | 266,20         | 323,20           | 283,70         | 267                | 307                         | 267           | 285             |

ches les plus récentes : autrement dit, il faudra forer plus profond pour avoir le niveau d'équilibre vrai, tous les autres n'étant qu'apparents, propres aux horizons poreux exploités et fonction des pertes de charges su-

bies lors de la percolation de l'eau de la formation-magasin principale vers ces couches-magasins secondaires.

Le niveau statique de la nappe profonde qui alimente ces diverses nappes empilées, ne doit donc pas être inférieur à ces cotes, c'est-à-dire à 400-405 m.

Notons que la zone du Chott, à l'O. et au N.O. d'Edri, se trouve à une altitude voisine de 400-405 m. et même 420 m. et que l'eau n'est pas éloignée de la surface du sol. Or, en cette région, ce sont les grès dévoniens qui affleurent sous le recouvrement détritique récent; la nappe-origine doit donc s'y manifester avec le minimum de pertes de charges, donc avec le niveau d'équilibre le plus élevé.

### c) DÉBIT

Il est difficile d'avoir une idée de la quantité totale d'eau prélevée sur la nappe du Chati. Il a été, en effet, absolument impossible pendant la durée des missions de jauger tous les débits utilisés.

Le seul moyen praticable, et encore très approché, est de considérer les besoins humains, animaux et végétaux. Ainsi les renseignements qui résultent du dernier recensement militaire nous ont permis de dresser le tableau des destinées de l'eau du Chati (Tabl. 28) et de fixer le volume débité à environ 700 l/sec.

TABLEAU 28  
Tableau résumant les destinées de l'eau du Chati

|                              | NOMBRE                            | BESOINS<br>l./sec./unité | TOTAL<br>en l./sec.   |
|------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Habitants.....               | 16.170                            | 10 l./indiv./jour        | 19 l./sec. . . 20     |
| Animaux.....                 | 7.000                             | 10 l./unité/jour         | 0,8 l./sec. . . 1     |
| Djédouals <sup>1</sup> ..... | 422.000<br>soit<br>1.266 hectares | 1 l./sec./hect.          | 126,6 l./sec. . . 130 |
| Palmiers.....                | 231.000 à<br>100 par hectare      | 0,25 l./sec./hect.       | 577,5 l./sec. . . 600 |
|                              |                                   |                          | 751 l./sec.           |

1. — Carrés de jardin de 3 m<sup>2</sup> environ.

En comptant surtout l'excès d'irrigation et la sous-estimation des surfaces couvertes de végétation, on peut considérer que le débit susceptible d'assurer la vie des éléments cités, doit être de l'ordre de 1 m<sup>3</sup>/sec.

Il faut encore tenir compte de l'évaporation intense qui trouve une proie facile dans toutes ces eaux qui s'égaillent jusqu'à la surface, imprègnent

les couches perméables et détritiques qu'elles rencontrent, se trouvent à 1 m. de la surface sur une bonne partie de la bordure nord du Zellaf et à l'O. d'Edri, et qui saturent les sables et terrains des innombrables sebkhas du Chati.

Le chiffre de 1 m<sup>3</sup>/sec. peut, de ce fait, être augmenté. Sans erreur grossière, il est possible d'évaluer le débit de la nappe profonde dispensatrice vers la surface, à un chiffre d'ordre de grandeur de 1,5 à 2 m<sup>3</sup>/sec.

#### d) EN RÉSUMÉ ET EN CONCLUSION

Les couches poreuses de la série dévono-tournaisienne du Chati, sont occupées par une série de nappes empilées. Celles-ci ont des caractères chimiques absolument communs, influencés parfois par des phénomènes très localisés, généralement de surface. Les caractéristiques dynamiques sont décroissantes en montant dans la série stratigraphique. Les caractéristiques propres (granulométrie, porosité, etc...) sont absolument variables en leurs seins mêmes. Les températures croissantes vers l'E., sont le signe que, dans cette direction, les eaux proviennent des zones plus profondes (150 m. au moins).

Les niveaux statiques les plus élevés proviennent des couches inférieures de la série du Chati. On peut de la sorte penser qu'on arriverait à une valeur-limite qui semble avoir été atteinte vers Hatya où sur 150 m. de forage le niveau a varié de — 8 m. à — 6,70, donc de 1,30 m.

On en vient de la sorte à l'idée d'une formation-magasin plus poreuse ou plus importante, ou les deux, comme l'est la série dévonienne, que les autres couches poreuses. Elle serait nettement en charge par rapport à celles-ci, donc pourrait diffuser vers elles par les moindres fissures qui, ainsi qu'il a été dit, sont très nombreuses.

Le niveau statique de cette formation-magasin dévonienne qui alimente les autres couches plus récentes, est égal ou supérieur à celui du sondage de Hatya d'Edri.

Il va sans dire que lorsqu'un sondage exploite une couche donnée, par exemple le niveau poreux compris entre 81 m. et 75 m. 60 qui, dans la couche du forage n° 540 de Deb-Deb, donne 5,2 l/sec. sur les 20 l/sec. débités, la circulation de l'eau dans celle-ci est latérale : le mouvement de percolation de la nappe principale vers cette nappe secondaire ne se fait que par le canal des nappes intermédiaires fissurées. Il est diffus, général, consécutif à la *décompression* que l'ouverture du forage a provoqué dans le niveau exploité. Il a également pour effet, en provoquant une circulation latérale vers le forage, d'arrêter ou de diminuer très sensiblement la circulation verticale vers les nappes supérieures qui verront leur alimen-

tation réduite dans la zone d'influence du forage (cône de dépression); leurs possibilités de débit seront diminuées d'autant. Nous avons essayé de schématiser dans la figure 17 les conséquences de l'ouverture d'un forage dans des couches de niveaux statiques croissant en profondeur et de capacité indéfinie.

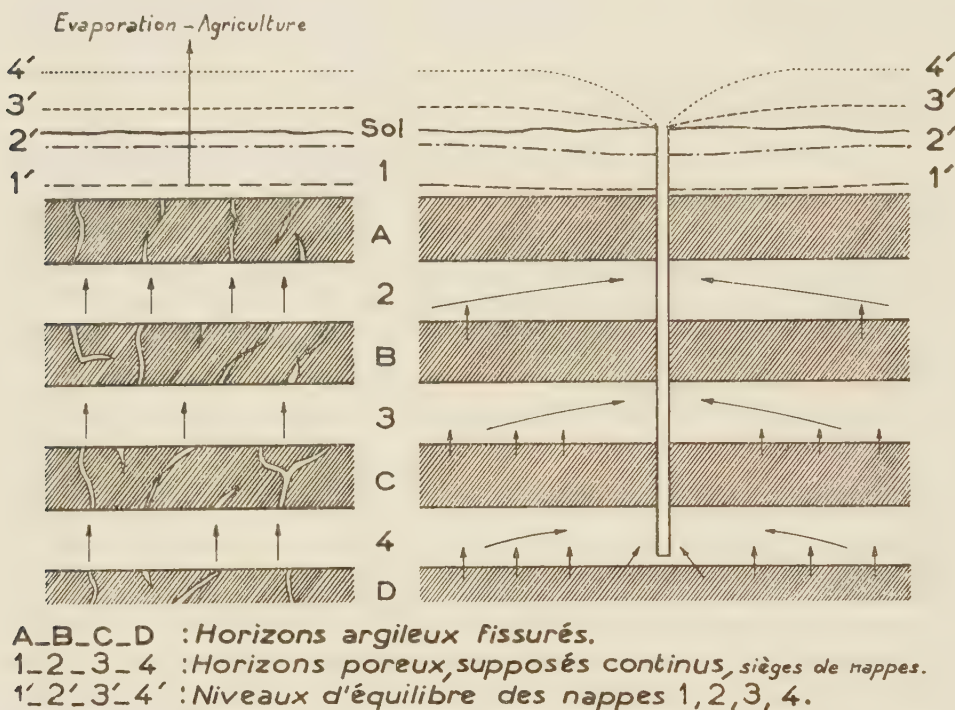


FIG. 17. — EFFET D'UN FORAGE SUR LES SURFACES D'ÉQUILIBRE DES NAPPES EXPLOITÉES, EMPILÉES, A NIVEAU STATIQUE CROISSANT EN PROFONDEUR.

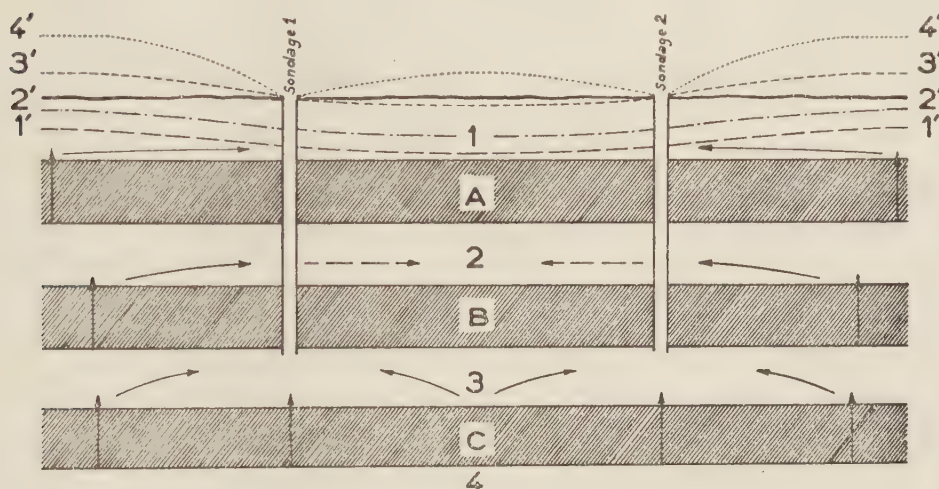
Les cônes de dépression des nappes exploitées auront une influence combattue, dans les nappes supérieures, par les circulations latérales si celles-ci sont possibles : d'où la nécessité absolue, si on veut que les répercussions se fassent sentir le moins possible dans les couches supérieures, de forer et d'exploiter les nappes éloignées de la surface du sol et, si possible, directement la nappe-origine; nécessité également de ne pas trop rapprocher les forages entre eux afin que les cônes ne se touchent pas et ne tendent pas à stériliser toute une région, les circulations latérales ne pouvant pas toujours combattre leurs effets (fig. 18).

Il faut encore noter, en relation avec l'homogénéité de salure des nappes qui constituent le système du Chati, que celui-ci a dû fonctionner pendant un temps très long avant que les réactions d'équilibres dont ont été



le siège les couches dévoniennes, tournaisiennes, récentes même, continentales ou marines, voire lagunaires, ne parviennent à l'unification des caractères chimiques que nous avons constatée.

Il nous reste à définir le mécanisme de l'alimentation, les réserves, le débit théorique possible de cette nappe principalement dévoniennne et, du même coup, des nappes tournaisiennes secondaires et *parasites* si nous



A\_B\_C : Horizons argileux fissurés.

1\_2\_3\_4 : Horizons poreux, supposés continus, sièges de nappes.

1'\_2'\_3'\_4' : Niveaux d'équilibre des nappes 1,2,3,4.

FIG. 18. — INFLUENCE DE DEUX SONDAGES TROP RAPPROCHÉS SUR LES SURFACES D'ÉQUILIBRE DE NAPPES EMPIILÉES A NIVEAU STATIQUE CROISSANT EN PROFONDEUR.

pouvons nous permettre d'utiliser ce terme qui montre leur dépendance étroite de la première. Mais ces questions, de même que les formations géologiques, dépassent le cadre du Chati que nous nous sommes proposés. Nous y reviendrons donc sur le plan général.

### Le Bouanis

Le Bouanis (Pl. III) correspond à une région où se trouvent neuf villages suivant un axe orienté E.N.E.-O.S.O. Elle est longue d'environ 150 km. et s'étend depuis l'ouadi Khneir à la Sebha qu'elle englobe.

Ces villages sont égrenés entre le Zellaf dont les sables s'étendent au N.O. et les garas gréseuses qui les dominent et sont les prolongements ultimes du sérir el Gattousa (fig. 19). Celui-ci ne se termine pas par une falaise; il s'agit plutôt d'une bordure de plateaux très découpés, festonnée,

TABLEAU 29

Relevé des points

| LOCALITES               | N <sup>os</sup><br>BIRH | Cote<br>sol | TEMPERATURES |       | Débit<br>l/sec. | Cote<br>plan<br>d'eau |
|-------------------------|-------------------------|-------------|--------------|-------|-----------------|-----------------------|
|                         |                         |             | Eau          | Air   |                 |                       |
| Oum El Abid :           |                         |             |              |       |                 |                       |
| Aïn Bled.....           | 299                     | 415,9       |              |       |                 | 414                   |
| Puits du Fort.....      | 300                     | 419         |              |       |                 | 414                   |
| Zighen :                |                         |             |              |       |                 |                       |
| B. Marabout.....        | 316                     | 439,5       |              |       |                 | 433,4                 |
| B. Nouirmain.....       | 302                     | 434,5       |              |       |                 | 431                   |
| Mare du Puits.....      | 303                     |             |              |       |                 |                       |
| Semnou :                |                         |             |              |       |                 |                       |
| Oum el Khir.....        | 301                     | 435,5       |              |       |                 | 433                   |
| B. Mecarmou.....        | 317                     | 446,6       |              |       |                 | 439,0                 |
| Temenhint :             |                         |             |              |       |                 |                       |
| B. Rab.....             | 318                     | 437,8       |              |       |                 | 435,0                 |
| B. Besten Semnou.....   | 319                     | 439,5       |              |       |                 | 433,0                 |
| Fort Leclerc :          |                         |             |              |       |                 |                       |
| B. Nord.....            | 354                     | 452         |              |       |                 | 430,7                 |
| B. el Bgar.....         | 355                     | 454,4       |              |       |                 | 441,1                 |
| Puits de la cour.....   | 516                     | 459,4       |              |       |                 | 436,0                 |
| B. Senia.....           | 512                     | 452         |              |       |                 | 438                   |
| Hajara :                |                         |             |              |       |                 |                       |
| Puits abandonné.....    | 513                     | 444,8       |              |       |                 | 440,0                 |
| Bir Bled.....           | 371                     | 446,4       |              |       |                 | 440,4                 |
| Djedid :                |                         |             |              |       |                 |                       |
| Lac Zlam.....           | 447                     | 429         | 15° 1        | 14° 5 |                 | 429                   |
| Sondage Aïn Zlam.....   | 448                     | 428         |              |       |                 | 428                   |
| B. Md. b. Hamed.....    | 449                     | 432         | 23° 7        | 17° 3 |                 | 429,4                 |
| Aïn Grey.....           | 450                     | 422         | 24°          | 18° 4 |                 | 421,2                 |
| Gorda :                 |                         |             |              |       |                 |                       |
| Sondage Caïd Taïeb..... | 451                     | 429         | 26° 6        | 20°   |                 | 425,6                 |
| Ghoddoua :              |                         |             |              |       |                 |                       |
| B. Mlabraf.....         | 351                     | 463,0       |              |       |                 | 454,7                 |
| B. public.....          | 493                     |             | 19° 4        | 28°   |                 |                       |

## Eaux analysées du Bouanis

| Hauteur<br>eau/sol | Ca  | Mg  | Na   | Cl    | SO <sup>4</sup> | CO <sup>3</sup> | Résidu<br>sec | Degré<br>hydroti-<br>métrique | Ph   |
|--------------------|-----|-----|------|-------|-----------------|-----------------|---------------|-------------------------------|------|
| 1,9                | 123 | 18  | 242  | 320   | 268             | 78              | 1130          | 37°                           | 7,5  |
| 5                  | 174 | 29  | 345  | 497   | 442             | 87              | 1660          | 54°                           | 7,3  |
| 6,5                | 370 | 79  | 1190 | 1597  | 1125            | 51              | 4450          | 122°                          | 6,9  |
| 3,5                | 101 | 28  | 299  | 426   | 332             | 57              | 1338          | 36°                           | 7,2  |
|                    | 104 | 25  | 322  | 444   | 356             | 60              | 1228          | 35°                           | 7,3  |
| 2,5                | 95  | 25  | 242  | 284   | 336             | 62              | 1120          | 33°                           | 7,1  |
| 6,6                | 435 | 82  | 1403 | 1917  | 1505            | 66              | 5570          | 139°                          | 6,9  |
| 2,8                | 242 | 50  | 644  | 852   | 781             | 213             | 2630          | 79°                           | 7,7  |
| 6,5                | 97  | 25  | 460  | 586   | 460             | 69              | 1860          | 34°                           | 6,9  |
| 21,25              | 54  | 9   | 124  | 149   | 139             | 36              | 530           | 17°                           | 6,8  |
| 13,25              | 47  | 3   | 106  | 135   | 119             | 33              | 446           | 13°                           | 6,9  |
| 23,4               | 82  | 13  | 14   | 178   | 182             | 40              | 650           | 25°                           | 6,9  |
| 14                 |     |     |      |       |                 |                 |               |                               |      |
| 4,8                |     |     |      |       |                 |                 |               |                               |      |
| 6                  | 39  | 7   | 90   | 103   | 92              | 40              | 362           | 12°                           | 6,8  |
| 675                | 701 | 675 | 9085 | 12336 | 5855            | 138             | 29554         | 442°                          | 7,95 |
|                    | 36  | 41  | 322  | 515   | 177             | 34              | 1194          | 25°                           | 7,4  |
| 2,6                | 20  | 7   | 25   | 35    | 29              | 37              | 156           | 8°                            | 7,4  |
| 0,8                | 16  | 8   | 156  | 156   | 95              | 37              | 488           | 7°                            | 7,3  |
| 3,4                | 39  | 8   | 16   | 28    | 76              | 22              | 190           | 13°                           | 7,1  |
| 8,3                | 37  | 4   | 143  | 117   | 140             | 45              | 470           | 11°                           | 7,3  |
| 4,6                | 45  | 10  | 230  | 213   | 187             | 81              | 660           | 15°                           | 7,15 |

qui s'étage en gradins, et d'une suite de buttes et de garas qui s'avancent vers le Zellaf et dont la base est souvent ensablée. La hauteur moyenne des plus hauts escarpements, est d'environ 30 m. En gagnant vers le N.E. celle-ci diminue en même temps que la limite des plateaux recule vers le S. et s'estompe.

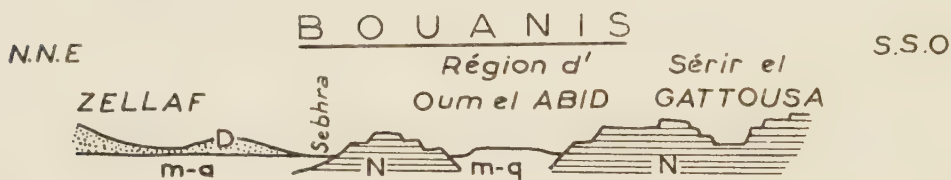


FIG. 19. — COUPE SCHÉMATIQUE DANS LE BOUANIS, ZONE DE TRANSITION ENTRE LA PARTIE SEPTENTRIONALE DU PLATEAU NUBIEN DU SÉRIR EL GATTOUSSA ET LE ZELLAF.

Nous engloberons dans la présente étude régionale, le village de Ghoddoua qui se trouve à environ 70 km. au S.S.O. de Fort-Leclerc. Il est placé sensiblement aux limites géographiques de la hamada de Mourzouk et du sérir el Gattoussa, à des distances à peu près égales de la Sebha, de Mourzouk et de el Abiodh qui marque la limite orientale de l'ouadi el Ajal.

Topographiquement, les oasis du Bouanis ne sont pas aux points les plus bas de la dépression qui s'étend entre les terrains gréseux et le Zellaf. Comme au Chati, celle-ci est à peu près continuellement occupée par une sebkhra plus ou moins humide (Pl. XIX, fig. 5) où nous avons pu observer, en des points différents, une épaisseur de sels très souvent supérieure à 1 m. 20.

## 1. — SITUATION GEOLOGIQUE

Le Nubien constituant tous les plateaux et garas, plonge globalement vers le S. vers l'axe synclinal qui passe sensiblement en direction E.N.E., au centre du sérir el Gattoussa.

La grande *cuesta* imprécise que constitue le rebord des plateaux, a sa base recouverte par des dépôts détritiques récents et par les sables du Zellaf, et surtout, vers le N., vers Oum el Abid et Khneir et très sporadiquement vers la Sebha, par les dépôts de calcaires et marnes sableuses du Paléogène supérieur (Pl. XX, fig. 3).

## 2. — HYDROLOGIE

### a) LES POINTS D'EAU

#### 1° Description. Répartition.

Il n'existe, dans tout le Bouanis (Tabl. 29), qu'un seul type de point d'eau : le puits. Exceptionnellement, on rencontre près de Djédid un type



de point d'eau qui rappelle l'*aïn* du Chati : il s'agit d'un puits foncé jusqu'à un niveau d'où l'eau remonte et déborde avec un débit très faible. L'*aïn* naturel, rencontré d'une façon si générale au Chati, n'existe pas ici où l'eau est seulement ascendante.

Dans tous les villages, la coupe des terrains traversés lors du fonçage des puits, se présente de façon sensiblement identique. Sous une très faible couche superficielle de sable, de terre et de croûte :

une couche de marnes gréseuses et souvent gypteuses, blanches, de puissance variable (de 1 à 5 m.). C'est le *tine* (l'argile des indigènes);

des grès tendres et blancs, ou durs et sombres, en plaques alternant quelques fois avec des argiles grises, rouges, violettes.

Lorsque les couches de grès sont atteintes et plus ou moins traversées, en moyenne entre 4 et 7 m., l'eau remonte à 2 m. 50 de la surface à Semnou, à 2 m. à bir Gourméda et, selon certaines rumeurs, au dessus du niveau du sol au S.O. de Temenhint<sup>1</sup>.

Les puits ont une eau tiède quelquefois, et de salure variable; comme il était de règle au Chati, le résidu sec varie généralement en sens inverse du débit et de la température.

Trois sondages ont été exécutés avec des appareils à mains. Il ne reste plus ni coupe, ni échantillon d'aucun d'entre eux (Tabl. 30). Cependant, nous avons pu recueillir quelques renseignements auprès des ouvriers qui ont travaillé au chantier de celui du Caïd TAÏEB :

TABLEAU 30  
Tableau des sondages du Bouanis

| LOCALITES<br>Noms des Points | ALTITUDE<br>du terrain | ALTITUDE<br>du plan<br>d'eau | PROFON-<br>DEUR<br>atteinte | TUBAGE | TEMPÉ-<br>RATURE<br>de l'eau | FOND<br>actuel<br>sous<br>la surface<br>du sol |
|------------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------|------------------------------|------------------------------------------------|
| <i>Djedid :</i>              |                        |                              |                             |        |                              |                                                |
| Md. ben Hamed...             | 432                    | 428,3                        | 34                          | 0 m    | 23° 7                        | 2,60 m                                         |
| Aïn Nahr.....                | 423                    | 428                          | 37                          | 0 m    | 24° 8                        | 1,50 m                                         |
| <i>Gorda :</i>               |                        |                              |                             |        |                              |                                                |
| Caïd Taïeb.....              | 429                    | 425,6                        | 100                         | 64 m   | 26° 6                        | 60 m                                           |

1. — Dans ce dernier cas, un propriétaire plus hardi ayant percé d'un trou de 0 m. 30 de diamètre la couche de grès très durs qui marque le fond de la majorité des points d'eau du village, le niveau de l'eau monta rapidement dans son puits profond de 2 m. 80, et déborda. Depuis lors, les remblais qui retenaient l'eau se sont éboulés et cet *aïn* artificiel s'est peu à peu colmaté. Actuellement, le niveau de l'eau est à 0 m. 20 sous celui du sol. Les indigènes, peu entreprenants, ignorants le niveau auquel pourrait monter l'eau s'ils recommençaient l'expérience, et peu encouragés par la qualité médiocre des terres environnantes, n'ont pas fait de nouvelles tentatives.

Deux nappes furent recoupées : à — 7 m. avec remontée à — 5 m. 50 de la surface, et à — 14 m. avec remontée à — 4 m. 50.

A partir de ce moment, et jusqu'à la fin du forage, le niveau de l'eau s'est stabilisé à — 4 m. 50 du sol.

La coupe des terrains traversés serait du sommet au fond :

0-7 m. : alternances de marnes argileuses et de sables marneux;

7-8 m. : grès blancs;

8-14 m. : alternances marno-sableuses et argileuses;

14-16 m. : grès sombres;

16-94 m. : couches grés-marneuses et argilo-sableuses en alternances,  
en majorité blanches avec passages rouges à la base;

96-100 m. : grès grossiers noirs.

## 2° Les niveaux statiques.

La région la plus élevée où affleure la nappe, est celle de Ghodoua (454,70), ensuite on trouve celles de Hajara (440) et de Semnou (439), dans le Bouanis central. Les points bas se trouvent aux deux extrémités du Bouanis, à Oum el Abid (414) et près de Djedid, au lac Zlam (429). Cet affleurement d'eaux libres est prolongé, en bordure du Zellaïf, par une zone humide qui entretient toute la végétation locale et est particulièrement nette lorsqu'elle est vue d'avion (Pl. XX, fig. 3).

En d'autres termes, le niveau statique, qui semble minimum dans la région de Fort-Leclerc (430,70) et d'Oum el Abid (414) est maximum vers Ghoddoua (454,70).

La surface d'équilibre de la nappe est inclinée vers le N. et vers le N.E. en sens inverse de la structure géologique régionale elle-même globalement inclinée vers le S., et, en somme, de la topographie qui, à partir du sommet des garas et du plateau constituant le sérir, est, elle aussi, inclinée insensiblement vers le S.

## b) LES RÉSULTATS D'ANALYSES

### 1° Teneurs en sels. Résidus secs.

L'étude des résultats d'analyses des eaux du Bouanis (Tabl. 29) permet de remarquer que, comme au Chati, les teneurs en ions  $\text{CO}_3$  restent faibles; elles sont constamment comprises entre 22 et 87 mg/litre. Exceptionnellement sont supérieures à ces chiffres, celles du lac Zlam de Djédid (138 mg.) et d'un puits de Témenhint (213 mg.).

D'une façon générale les résidus secs, qui demeurent dans des limites très acceptables, en moyenne 500 mg/l., sont plus élevés dans le Bouanis

oriental (en moyenne 1000 mg/l.). Les teneurs en ions Mg sont très faibles (le plus souvent inférieures à 25 mg/l.).

## 2° Etude des diagrammes.

Sur la figure n° 20 sont consignées les analyses des eaux de Hajara n° 371, courbe 1), Fort-Leclerc (n° 354, courbe 2), Zighen (n° 303, courbe 3) et Oum el Abid (n° 300, courbe 4).

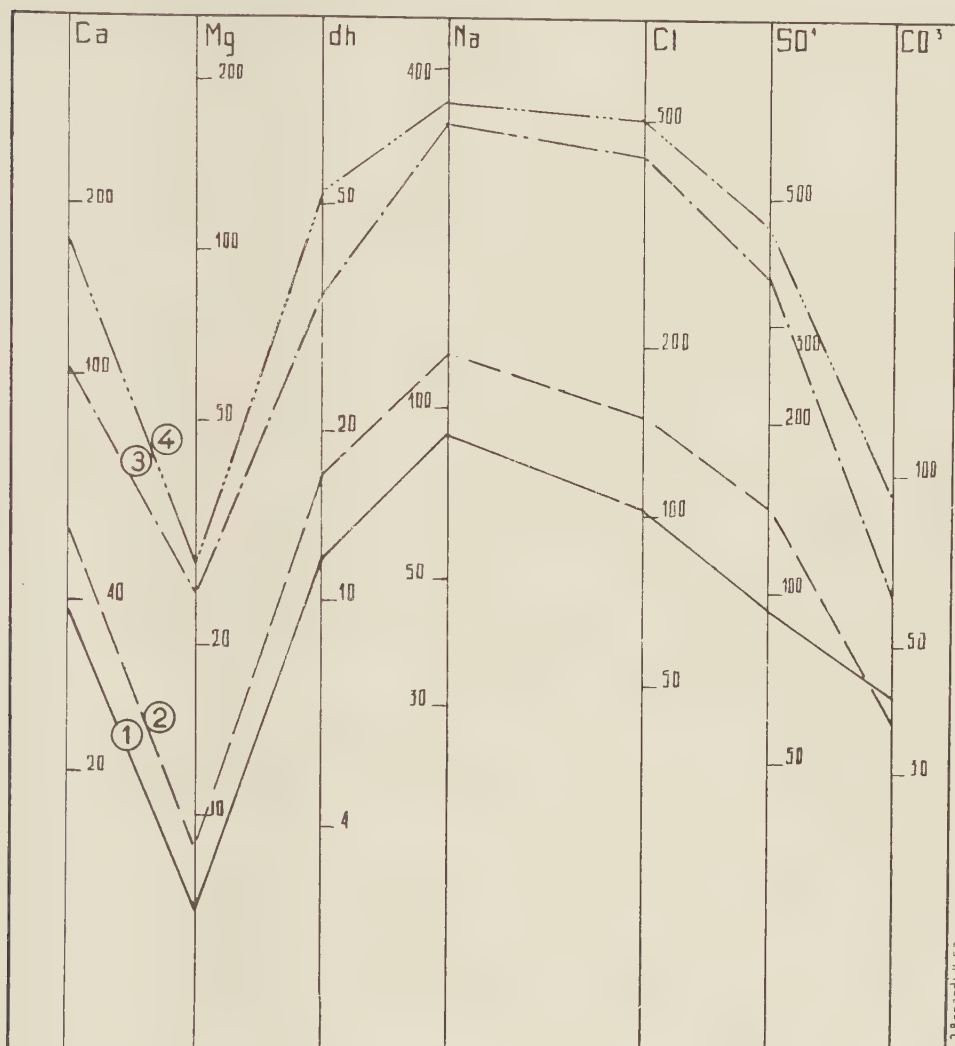


FIG. 20. — EAUX DU BOUANIS. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.

1 : 371 (Hajara). — 2 : 354 (Fort Leclerc). — 3 : 303 (Zighen). — 4 : 300 (Oum el Abid).

Le parallélisme presque rigoureux des éléments des courbes, permet de conclure à une concentration des eaux d'O. en E. Les r % sont sensible-

ment identiques malgré une concentration en Equivalents qui va en croissant (Tabl. 31). Toutes ces eaux ont certainement une même origine; elles sont influencées par des terrains identiques. On peut remarquer que l'eau de Hajara présente une déficience d'ions Cl compensée par un excès relatif d'ions  $\text{CO}^3$ .

TABLEAU 31  
Tableau des r et r % dans les eaux du diagramme de la figure 20

| IONS                             | HAJARA<br>(n° 371) |      | FORT<br>LECLERC<br>(n° 354) |      | ZIGHEN<br>(n° 303) |      | OUM<br>EL ABID<br>(n° 300) |      |
|----------------------------------|--------------------|------|-----------------------------|------|--------------------|------|----------------------------|------|
|                                  | r                  | r %  | r                           | r %  | r                  | r %  | r                          | r %  |
| Ca.....                          | 1,95               | 1,55 | 2,7                         | 15,1 | 5,2                | 12   | 8,8                        | 15,6 |
| Mg.....                          | 0,6                | 4,6  | 0,75                        | 4,1  | 2,2                | 5    | 2,4                        | 4,4  |
| Na.....                          | 3,8                | 29,9 | 5,5                         | 30,8 | 14                 | 32,2 | 16                         | 30   |
| TOTAL cations.                   |                    | 50,5 |                             | 50,0 |                    | 49,2 |                            | 50,0 |
| Cl.....                          | 3,2                | 24,9 | 4,4                         | 24,6 | 12                 | 27,7 | 14,5                       | 26,8 |
| $\text{SO}^4$ .....              | 2                  | 15,7 | 3                           | 16   | 7,5                | 17   | 9,2                        | 17   |
| $\text{CO}^3$ .....              | 1,2                | 9,3  | 1,5                         | 8,4  | 2,1                | 5,6  | 3                          | 5,7  |
| TOTAL anions..                   |                    | 49,9 |                             | 49,0 |                    | 50,3 |                            | 49,5 |
| Concentration<br>en Equivalents. | 12,85              |      | 17,85                       |      | 43,4               |      | 54,1                       |      |

Sur la figure 21 sont portés les tracés des analyses des eaux de Fort-Leclerc (n° 355, courbe 1), Temenhint (n° 319, courbe 2), Zighen (n° 316, courbe 3) et Semnou (n° 317, courbe 4).

Les remarques faites à propos du diagramme précédent peuvent être reprises à propos de celui-ci presque sans modification : mais il faut cependant souligner la teneur particulièrement faible de l'eau de Fort-Leclerc en ions Mg.

Sur la figure 22, sont figurées les analyses d'eau de Djédid (n° 449, courbe 1 et n° 450, courbe 3), de Gorda (n° 451, courbe 2) et de Ghoddoua (n° 493, courbe 4). Nous avons rappelé en outre l'eau n° 319 de Témehint parce qu'elle rattache aux constatations que nous avons faites précédemment les eaux de Djédid et Ghodoua qui semblent cependant plus riches en ions  $\text{CO}^3$ .

L'élément nouveau est constitué par les tracés, de style inconnu jusqu'à présent, des eaux de Djédid et de Gorda. Il est possible que la différence observée provienne de l'imprécision de la méthode d'analyse appliquée à des eaux aussi peu minéralisées. L'étude des r% permet de cons-



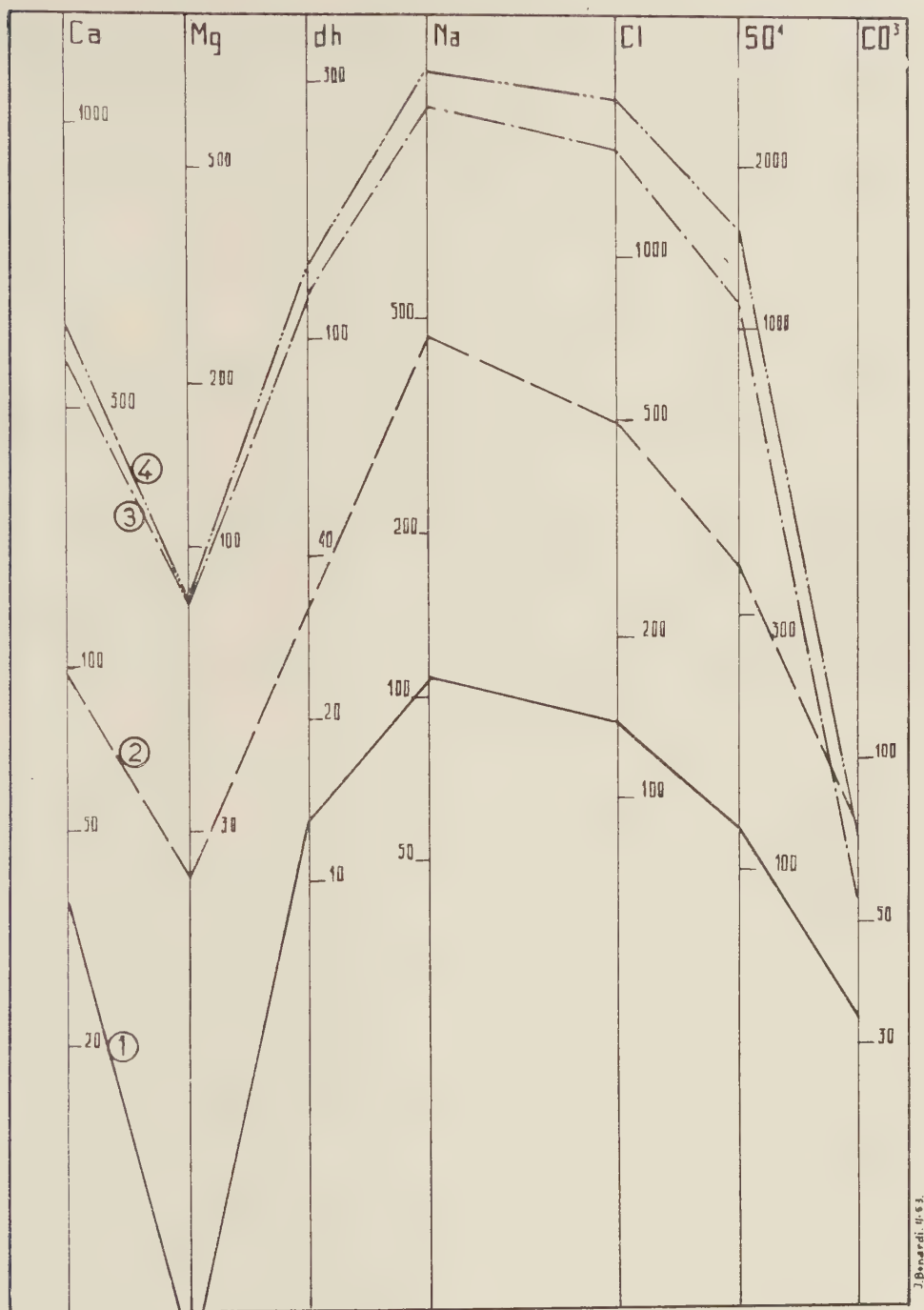


FIG. 21. — EAUX DU BOUANIS. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.  
 1 : 355 (Fort Leclerc). — 2 : 319 (Temenhint). — 3 : 316 (Zighen). — 4 : 317 (Semnou).

tater (Tabl. 32) que l'analyse de l'eau 449 doit en effet être défectueuse; les proportions ioniques sont loin de s'équilibrer. L'eau n° 451 qui présente une teneur ionique plus acceptable, serait comparable aux autres eaux

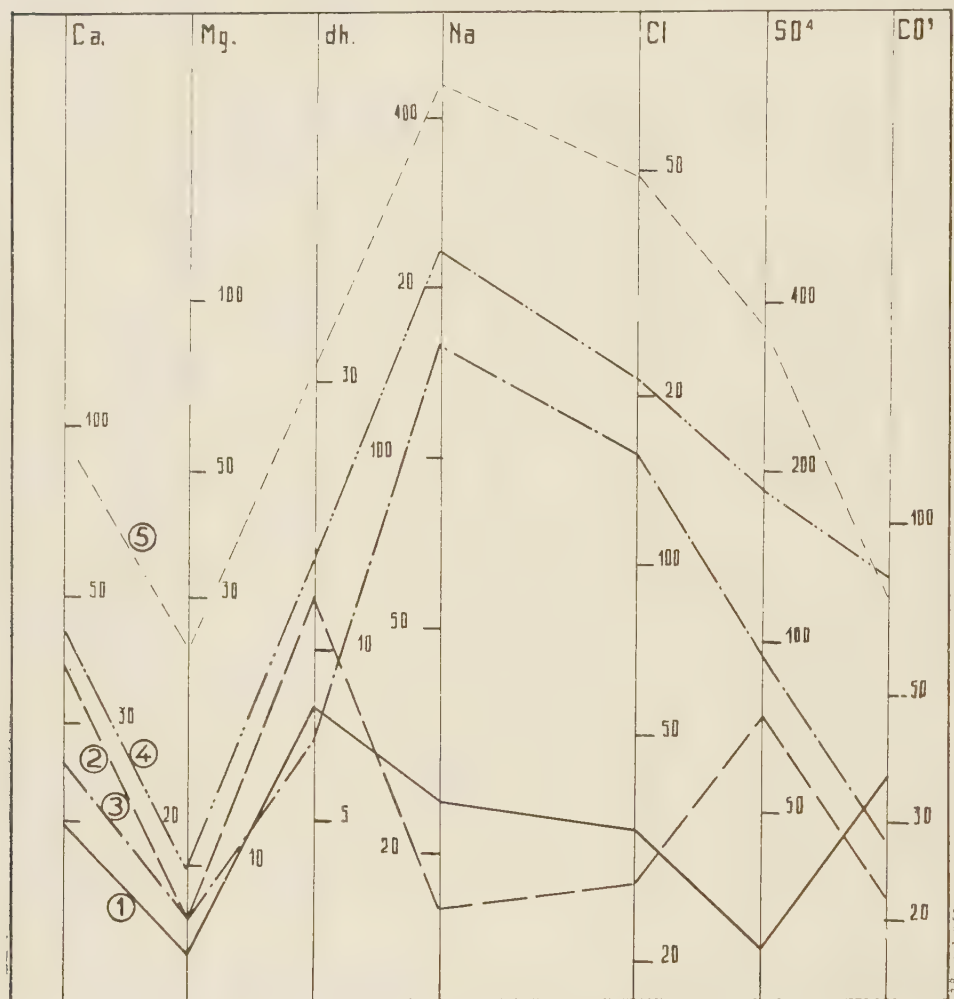


FIG. 22. — EAUX DU BOUANIS. DIAGRAMMES LOGARITHMIQUES.

1 : 449 (Djedid). — 2 : 451 (Gorda) — 3 : 450 (Djedid). — 4 : 493 (Ghoddoua). — 5 : 319 (Temenhint).

mentionnées à la teneur près en  $\text{ClNa}$  : les eaux rencontrées couramment dans le Bouanis, découlent de celle-ci par augmentation de la teneur en  $\text{ClNa}$  qui donne au tracé sa forme convexe ordinaire. En fait, il peut y avoir là deux types d'eaux : l'un évolué (courbe ordinaire), l'autre non évolué (Gorda) à l'origine du précédent, caractérisé par une teneur relative beaucoup plus forte que la précédente en ions  $\text{SO}_4$  et en ions alcalino-ter-

reux. Suivant cette façon de voir, le caractère d'évolution serait l'augmentation sensible de la teneur en ClNa et en corollaire, la réduction du degré hydrotimétrique.

TABLEAU 32

Tableau des r % dans les eaux du diagramme de la figure 22

|                                     | DJÉDID<br>(449) | GORDA<br>(451)<br>sondage | DJÉDID<br>(450) | GHODDOUA<br>(493) | TÉMENHINT<br>(319) |
|-------------------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|
| r % Ca.....                         | 16,7            | 29,8                      | 10,5            | 9,2               | 9,8                |
| Mg.....                             | 9,8             | 10,2                      | 3,8             | 3,2               | 3,9                |
| Na.....                             | 16,8            | 11                        | 41,1            | 38,5              | 39,3               |
| TOTAL cations..                     | 43,3            | 51,0                      | 55,4            | 50,9              | 53                 |
| r % Cl.....                         | 16,7            | 11,8                      | 27              | 23,1              | 25,9               |
| SO <sup>4</sup> .....               | 10              | 25,1                      | 11,7            | 15,4              | 14,5               |
| CO <sup>3</sup> .....               | 20              | 11,8                      | 5,5             | 10,4              | 4,7                |
| TOTAL anions..                      | 46,7            | 48,7                      | 44,2            | 48,9              | 45,1               |
| Concentration en<br>Equivalents.... | 5,98            | 6,35                      | 17              | 25,95             | 50,8               |

### 3. — HYDROGÉOLOGIE

Nous avons vu combien est régulière la structure géologique qui règne au Bouanis.

Par contre, l'hydrologie fait ressortir que deux types d'eaux, évoluées différemment, voisinent. L'un se rencontre d'un bout à l'autre de la région superficiellement; l'autre se rencontre en profondeur: il nous est apparu à la faveur de deux sondages exécutés dans la Sebha.

Le passage de l'un à l'autre est insensible puisque la présence de l'eau s'est maintenue durant toute la durée du forage de Corda et que le niveau piézométrique, sauf lors des premiers mètres de forage, n'a pas varié.

Ce sondage trahit donc l'extension verticale du système installé dans la série nubienne continentale, largement lenticulaire: avec le pendage observé, les couches situées au fond du forage, doivent affleurer sensiblement à 3 km. plus au N., soit vers le lac de Djédid; elles doivent, par contre, se trouver à quelques 200 m. de profondeur vers Fort-Leclerc.

Une des composantes de la pente de la surface d'équilibre est inclinée de la Sebha vers Khneir. On a là une des normes de l'extension latérale du système étudié qui s'écoule dans une direction située entre N. et E.

Du fait que la surface piézométrique est inclinée en sens inverse de celui de la structure, c'est — *à priori* — que les ressources ne proviennent pas d'une nappe phréatique locale. Elles sont constituées par des eaux peu chargées (du type n° 451) qui constituent un système dont nous ne pouvons avoir qu'une idée imparfaite en n'étudiant que le Bouanis. Nous n'en connaissons pas, en effet, actuellement les limites qui, à l'image de ce qui se passe sur le plan structural, dépassent l'échelle régionale. Les parties superficielles d'un tel système sont nettement influencées par des terrains de recouvrement dont la salure semble se surimposer à celle qui a été conférée par le séjour dans les terrains nubiens magasins.

A noter encore que, soit signe de colmatage, soit plus probablement importance plus grande des terrains de recouvrement du Paléogène supérieur, il y a vers le N.E., un accroissement des résidus secs.

Quoiqu'il en soit, il faut retenir qu'il existe au Bouanis un système hydraulique qui se manifeste relativement librement (remontée à 4 m. 50 de la nappe située dans les terrains profonds de 14 m. dans le sondage de Gorda). Ses limites se trouvent hors du cadre présent, ce qui, étant donné son importance aussi bien latérale que verticale, rejoint le point de vue structural qui fait de cette région un petit secteur de la Cuvette fezzanaise.

De même que dans l'étude du Chati, l'homogénéité de salure est parfaite dans les différents terrains rencontrés. Cela malgré l'influence des dépôts post-nubiens qui, de Oum el Abid à Ghoddoua, donnent parfois aux eaux prélevées, des caractères variant légèrement sans parvenir à en masquer leur parenté initiale.

#### 4. — COMPARAISONS AVEC LES REGIONS VOISINES

Sur le plan géologique et structural, les systèmes qui se manifestent dans le Chati et dans le Bouanis, ont leur siège dans le Dévonien essentiellement et le Dinantien accessoirement pour l'un, et dans le Nubien pour l'autre. Ils sont séparés par l'écran des alternances fissurées du Carbonifère.

Sur le plan chimique, les qualités des eaux sont très comparables. Le Tableau 33 résume imparfaitement les renseignements que donne la comparaison malaisée des diagrammes. Il est évident que les influences subies par les eaux peuvent être très différentes au sein d'une même région, surtout si celle-ci comporte beaucoup de terrains paléogènes supérieurs. De ce fait, sur la quantité d'eaux ainsi « formées », il peut s'en trouver d'identiques d'une région à l'autre, mais peut-être initialement différentes. Pour éviter ce risque, toutes les fois que cela a été possible, seules ont été ci-



tées des eaux de concentrations en Equivalents peu élevées et présentant un équilibre ionique satisfaisant ; elles présentent alors des caractères chimiques qui ont le maximum de chances de n'avoir pas été déformés.

TABLEAU 33  
Tableau comparatif des r % dans les eaux du Chati et du Bouanis

| REGIONS                        | CHATI  |             | BOUANIS      |             |
|--------------------------------|--------|-------------|--------------|-------------|
| LOCALITÉS                      | TAROUT | BOU GADGOUD | FORT LECLERC | OUM EL ABID |
| n° B.I.R.H.                    | 292    | 310         | 354          | 300         |
| r % Ca.....                    | 15,2   | 15,9        | 15,1         | 15,6        |
| r % Mg.....                    | 5,5    | 7,4         | 4,1          | 4,4         |
| r % Na.....                    | 27,7   | 26,5        | 30,8         | 30          |
| TOTAL cations.....             | 48,4   | 49,8        | 50           | 50          |
| r % Cl.....                    | 25,6   | 26          | 24,6         | 26,8        |
| r % SO <sup>4</sup> .....      | 18,6   | 17,5        | 16           | 17          |
| r % CO <sup>3</sup> .....      | 7,2    | 7,3         | 8,4          | 5,7         |
| TOTAL anions.....              | 51,4   | 49,8        | 49           | 49,5        |
| Concentration en Equivalents.. | 28,9   | 37,6        | 17,85        | 54,1        |

L'identité des caractères chimiques des eaux du Chati et du Bouanis implique la possibilité d'un mouvement de diffusion d'une région vers l'autre à travers les couches du Carbonifère sans qu'on puisse encore préciser dans quelle mesure ces systèmes sont interdépendants.

La surface d'équilibre du système qui se manifeste dans le Bouanis apparaît inclinée vers le N.E. de Ghoddoua (454) à Oum el Abid (414). Rappelons que dans le Chati, elle semble se trouver vers la cote 400.

Toutes ces conclusions seront précisées lorsque le mécanisme hydrogéologique qui règne sur ces régions, aura pu être mieux défini.

### L'ouadi el Ajal

L'ouadi el Ajal (Planche V) correspond à une vallée orientée E.-O. dans son ensemble : elle se présente comme une bande de terrain d'une largeur variable qui n'excède pas 7 kms; elle est limitée au N. par la ramla ou par

les dunes du Zellaf et de l'erg d'Oubari, et au S. par la falaise élevée et très découpée qui marque la limite septentrionale de la hamada de Mourzouk (Fig. 23 et Pl. XVIII, fig. 5). El Abiodh, qui est à l'extrémité orientale de l'ouadi, est à 60 kms au S.O. du Bouanis et de Ghoddoua dont nous venons de parler.

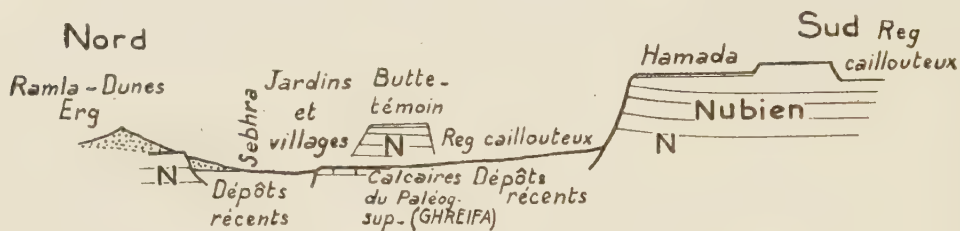


FIG. 23. — COUPE CLASSIQUE DANS L'OUADI EL AJAL.

L'ouadi el Ajal, qui est découpé en une série de larges alvéoles par les dentelures de la falaise qui s'avance souvent au contact de la ramla, peut être divisé en deux tronçons inégaux et d'orientations différentes.

a) La partie orientale, le Chergui, est orientée à l'E.N.E.. Longue de 80 kms, cette bande de terrain est large en moyenne de 1 km : les villages y sont espacés.

b) La partie occidentale, le Gharbi, est orientée sensiblement E.-O. Long de 50 kms à peine, il est large de 3 à 4 kms et, de ce fait, plus nettement alvéolé. Les villages y sont plus rapprochés que dans la partie voisine.

L'altitude de l'ouadi el Ajal ne varie presque pas d'une extrémité à l'autre : la partie basse de cette vallée se maintient au voisinage de 450-460 m. Elle est presque constamment jalonnée par une sebkha qui s'étire au pied même des dunes. Les villages sont en général à la cote 460-470. Le Col de Tékertiba, goulet très resserré entre falaise et erg, qui marque le passage du Chergui ou Gharbi, est à la même altitude que le reste du pays.

La pente des terrains est doucement inclinée vers le N., du pied de la falaise vers la sebkha en amont de laquelle se trouvent jardins et villages.

La falaise qui domine l'ouadi et se prolonge vers l'O. et le S., se dessine comme une immense *cuesta* subcirculaire qui limite la hamada de Mourzouk et le Messak, l'un et l'autre très doucement inclinés vers le S. et l'E., vers l'intérieur de la cuvette. Son altitude diminue d'O. en E. : alors qu'elle domine Oubari de 100 à 120 m. et plus, et qu'elle dépasse 150 m. plus à l'O. vers le Messak Setlafet, elle atteint à peine 50 à 60 m. à l'E., vers el Abiodh.

Par contre, alors que des ensembles dunairés élevés dominent la partie orientale de l'ouadi, ceux-ci disparaissent peu à peu vers l'O. : à hauteur d'Oubari, existe en effet une sorte de sérir sableux qui est coupé de très rares siouf et dont la surface topographique s'élève doucement vers le N. pendant quelques temps.

C'est au long de cette ancienne voie naturelle de pénétration des rives de la Méditerranée au Niger par Ghat, que se trouvent des vestiges d'une ancienne civilisation : celle des *Garamantes*. Ces vestiges témoignent de la permanence de ressources hydrauliques qui n'ont pas du varier beaucoup jusqu'à nos jours.

### 1. — SITUATION GÉOLOGIQUE

Les couches de Nubien constituent les affleurements qui, à la faveur de la falaise dont nous avons parlé, apparaissent d'un bord à l'autre de l'ouadi. Quelques buttes témoins constituées par des terrains identiques, sont situées entre l'erg et la falaise, en particulier dans le Chergui; enfin, il arrive que des pointements à revêtement gréseux de même âge, apparaissent sous les dunes qui marquent la limite septentrionale de la dépression.

A. DESIO a donné [45] une coupe très détaillée de la série située près de el Fjej.

Compte tenu des renseignements tirés de l'observation des cuttings du sondage de Ghreifa (n° 523) et d'une coupe relevée dans la falaise au S. de ce village, nous avons pu établir comme suit la série dans cette région.

De la base au sommet :

|                                                                                          |        |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| grès et formations conglomératiques                                                      |        |
| argiles blanches et rouges à passées gréseuses.....                                      | 200 m. |
| grès à galets et grès fins à passées sableuses.....                                      | 140 m. |
| argiles blanches et violacées entrecoupées d'un banc de<br>grès de 10 m.....             | 70 m.  |
| grès et bancs d'argiles à éléments ligniteux; quartzites<br>au sommet de la falaise..... | 40 m.  |

soit environ 470 m. dont 333 recoupés par le forage, le reste constituant l'escarpement qui domine l'ouadi; la coupe qu'on y relève se poursuit assez régulièrement jusqu'au col de Tékertiba. Au delà, vers l'E., des passages latéraux de faciès au sein des grandes divisions présentées, interdisent d'établir une correspondance précise avec la coupe citée plus haut.

Nous avons récolté des débris de bois silicifiés en divers points, notamment dans l'*akba* chamelière qui permet de gravir la falaise et de se rendre de el Fjej vers l'ouadi Heutba, et au petit col qui se trouve à 10 kms avant Graia sur la route.

TABLEAU 34

Relevé des points d'eau analysés

| LOCALITES<br>Nom du point d'eau   | N <sup>os</sup><br>B.I.R.H. | Cote<br>sol | TEMPERATURES |       | Débit | Cote<br>plan<br>d'eau | Hauteur<br>plan<br>d'eau/sol |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------------|--------------|-------|-------|-----------------------|------------------------------|
|                                   |                             |             | Eau          | Air   |       |                       |                              |
| El Abiodh :                       |                             |             |              |       |       |                       |                              |
| B. el bou Rharhi.....             | 418                         | 457         |              |       |       | 452,5                 | 4,5                          |
| B. Ethmaniaï.....                 | 419                         | 458         |              |       |       | 453,5                 | 4,5                          |
| Benazet :                         |                             |             |              |       |       |                       |                              |
| B. Magra.....                     | 417                         | 464         | 21° 4        | 25° 5 |       | 457,5                 | 6,5                          |
| El Hamra :                        |                             |             |              |       |       |                       |                              |
| B. el Glitane.....                | 416                         | 468         | 21° 7        | 17°   |       | 464,5                 | 3,5                          |
| Khlif :                           |                             |             |              |       |       |                       |                              |
| B. Abd el Kader.....              | 414                         | 463         | 18° 3        | 21°   |       | 457,5                 | 5,5                          |
| B. Abd es Salem.....              | 415                         | 458         | 22°          | 17°   |       | 450,2                 | 7,8                          |
| B. Cheikh Abd es Salem            | 502                         | 458         |              |       |       | 453,5                 | 4,5                          |
| Sidi Ali :                        |                             |             |              |       |       |                       |                              |
| B. Ghiguya.....                   | 375                         | 451         |              |       |       | 444,5                 | 6,5                          |
| Bent Beya :                       |                             |             |              |       |       |                       |                              |
| B. Bes Stam.....                  | 373                         | 458         | 24° 4        | 19° 6 |       | 450,4                 | 7,65                         |
| B. el Guetara.....                | 374                         | 454         | 23°          | 16°   |       | 446,7                 | 7,3                          |
| R'guiba :                         |                             |             |              |       |       |                       |                              |
| B. es Sahia.....                  | 376                         | 478         | 22° 3        | 1° 5  |       | 467,25                | 10,75                        |
| B. H <sup>a</sup> b. Snoussi..... | 377                         | 479         | 14° 2        | 4° 1  |       | 468,1                 | 10,9                         |
| Graya :                           |                             |             |              |       |       |                       |                              |
| B. H <sup>a</sup> b. Zeroug.....  | 412                         | 468         | 17° 5        | 10° 1 |       | 458,5                 | 9,5                          |
| B. Cheikh Saadi.....              | 413                         | 472         | 19° 8        | 11° 5 |       | 463,2                 | 8,8                          |
| El Fjej :                         |                             |             |              |       |       |                       |                              |
| B. Salah b. Ali.....              | 409                         | 481         | 20° 9        | 18° 3 |       | 472,4                 | 8,6                          |
| B. Habeïbi.....                   | 410                         | 483         | 20°          | 16° 7 |       | 473,7                 | 9,3                          |
| B. Abd El Hafia.....              | 411                         | 486         | 19° 5        | 19° 4 |       | 474                   | 12                           |
| B. Endjarren.....                 | 453                         | 483         |              |       |       | 462,5                 | 20,5                         |



## u Chergui (Ouadi El Ajal)

| Ca  | Mg  | Na  | Cl    | SO <sup>4</sup> | CO <sup>3</sup> | Résidu<br>sec | Degré<br>hydroti-<br>métrique | pH   | NO <sup>3</sup> |
|-----|-----|-----|-------|-----------------|-----------------|---------------|-------------------------------|------|-----------------|
| 80  | 18  | 126 | 195   | 132             | 60              | 648           | 27°                           | 7,8  |                 |
| 77  | 20  | 129 | 195   | 182             | 54              | 798           | 31°                           | 7,7  |                 |
| 28  | 11  | 45  | 64    | 54              | 49              | 320           | 11°                           | 7,6  |                 |
| 41  | 10  | 55  | 67    | 49              | 36              | 284           | 14°                           | 7,4  |                 |
| 157 | 33  | 115 | 248   | 331             | 73              | 1.036         | 52°                           | 6,9  |                 |
| 140 | 119 | 920 | 1.420 | 964             | 132             | 4.626         | 155°                          | 7,1  |                 |
| 110 | 30  | 132 | 124   | 288             | 84              | 746           | 39°                           | 7,1  | 32              |
| 126 | 33  | 236 | 248   | 428             | 81              | 1.170         | 44°                           | 7,1  | 32              |
| 176 | 53  | 310 | 470   | 396             | 78              | 1.472         | 64°                           | 6,9  | 0,2             |
| 126 | 22  | 149 | 177   | 288             | 69              | 860           | 40°                           | 6,9  | 20              |
| 192 | 20  | 103 | 160   | 128             | 63              | 680           | 33°                           | 7,5  |                 |
| 64  | 13  | 63  | 89    | 89              | 67              | 432           | 21°                           | 7,4  |                 |
| 223 | 47  | 235 | 431   | 451             | 150             | 1.456         | 64°                           | 7,55 |                 |
| 159 | 23  | 128 | 222   | 318             | 79              | 964           | 48°                           | 7,45 |                 |
| 140 | 20  | 115 | 222   | 210             | 74              | 886           | 42°                           | 7,6  |                 |
| 102 | 14  | 108 | 119   | 35              | 199             | 594           | 30°                           | 7,6  |                 |

TABLEAU 35

Relevé des points d'eau analysés

| LOCALITES<br>Nom du point d'eau | N°<br>B.I.R.H | Cote<br>sol | TEMPERATURES |      | Débit | Cote<br>plan<br>d'eau | Haut.<br>plan<br>d'eau<br>sol |
|---------------------------------|---------------|-------------|--------------|------|-------|-----------------------|-------------------------------|
|                                 |               |             | Eau          | Air  |       |                       |                               |
| <b>Tekertiba :</b>              |               |             |              |      |       |                       |                               |
| B. Cheikh Sinaoun.....          | 406           | 463         |              |      |       | 453                   | 10                            |
| B. Benzerac .....               | 407           | 467         | 16°8         | 20°  |       | 459,5                 | 7,5                           |
| B. Mouz Shib .....              | 408           | 452         | 14°8         | 19°  |       | 444                   | 8                             |
| <b>Gragra :</b>                 |               |             |              |      |       |                       |                               |
| B. Yana Samba .....             | 404           | 476         | 16°7         | 21°  |       | 469                   | 9                             |
| B. Djedeida .....               | 405           | 472         | 14°6         | 19°  |       | 466                   | 6                             |
| <b>Touioua :</b>                |               |             |              |      |       |                       |                               |
| B. Mohamed ben Ali ...          | 409           | 469         |              |      |       | 466,6                 | 2,4                           |
| B. Ali Farges .....             | 401           | 468         | 19°4         | 19°1 |       | 465,3                 | 2,7                           |
| B. Mia Fredkao .....            | 402           | 468         | 23°1         | 18°1 |       | 463,5                 | 4,5                           |
| B. Touil .....                  | 403           | 472         |              |      |       | 466,5                 | 5,5                           |
| <b>Brik :</b>                   |               |             |              |      |       |                       |                               |
| B. Moudiriat .....              | 396           | 477         | 23°5         | 17°2 |       | 471,6                 | 5,4                           |
| B. Assoulah .....               | 397           | 475         | 20°9         | 16°  |       | 469,5                 | 5,5                           |
| B. Touila .....                 | 398           | 468         | 16°2         | 18°4 |       | 463                   | 5                             |
| B. ben Hamza .....              | 399           | 460         | 17°4         | 22°6 |       | 457                   | 3                             |
| <b>Touache :</b>                |               |             |              |      |       |                       |                               |
| B. ben Mohamed .....            | 393           | 469         |              |      |       | 461                   | 8                             |
| B. Abd el Hafid .....           | 394           | 469         |              |      |       | 461                   | 8                             |
| B. Djedid .....                 | 395           | 479         |              |      |       | 475,6                 | 3,45                          |
| <b>Jerma :</b>                  |               |             |              |      |       |                       |                               |
| B. Abd el Hedi .....            | 389           | 474         | 18°          | 17°4 |       | 468,5                 | 5,5                           |
| B. Brahim b. Messaoud.          | 390           | 471         | 14°8         | 19°4 |       | 465,4                 | 5,6                           |
| B. Boussetta b. Salah ..        | 391           | 467         | 15°8         | 21°5 |       | 458,5                 | 8,5                           |
| B. ben Ettafrieh .....          | 392           | 463         |              |      |       |                       |                               |
| <b>Ghreifa :</b>                |               |             |              |      |       |                       |                               |
| Fogghara .....                  | 357           |             |              |      |       |                       | 5                             |
| B. Seniat Khia .....            | 378           | 469         | 18°          | 20°7 |       | 461,6                 | 7,4                           |
| N. Seniat Es-Sitouna ...        | 379           | 461         | 24°5         | 24°9 |       | 454,8                 | 6,22                          |
| Sondage Sull 200 .....          | 523           | 475         |              |      |       |                       |                               |
| Puits d'alim. du forage         | 524           | 472         |              |      |       |                       |                               |
| B. Salah b. Bacada .....        | 527           | 470         | 23°          |      |       | 461                   | 6                             |
| B. Bahali b. Hadj Maadi         | 528           | 470         | 22°1         |      |       | 463,8                 | 6,2                           |
| B. Moh. Ali b. Moudir ..        | 529           | 470         | 23°          |      |       | 463                   | 7                             |
| <b>Hatya :</b>                  |               |             |              |      |       |                       |                               |
| B. Cheikh Hassen .....          | 385           | 482         | 17°2         | 10°3 |       | 478                   | 4                             |
| B. Hamed b. Rouma ..            | 386           | 472,5       | 17°3         | 15°1 |       | 467,5                 | 5                             |
| B. ben Boussalah .....          | 387           | 470         | 17°3         | 18°4 |       | 466 5                 | 3,5                           |
| B. ben Messaoud .....           | 388           | 463         | 22°2         | 18°7 |       | 459,5                 | 3,5                           |
| <b>Ed-Dissa :</b>               |               |             |              |      |       |                       |                               |
| B. ben Rahouet .....            | 383           | 459         | 16°4         | 18°5 |       | 455,4                 | 3,6                           |
| B. Saïda .....                  | 384           | 453         | 20°3         | 18°  |       | 449                   | 4                             |
| <b>Oubari :</b>                 |               |             |              |      |       |                       |                               |
| B. Chibani .....                | 389           | 472         | 23°8         | 22°1 |       | 467,4                 | 4,6                           |
| Puits du Beylik .....           | 381           | 473         | 20°3         | 22°5 |       | 470,1                 | 2,6                           |
| Puits du poste .....            | 382           | 473         |              |      |       | 469,2                 | 3,8                           |
| Puits du Beylik .....           | 416           | 473         |              |      |       | 469,7                 | 3,3                           |
| Seniet (puits) .....            | 415           | 418         |              |      |       |                       | 12,3                          |
| Tin Abunda (puits) ....         | 444           | 437         |              |      |       | 431,7                 | 5,3                           |

## du Garbi (Ouadi El Ajal)

| Ca  | Mg  | Na  | Cl    | SO <sup>4</sup> | CO <sup>3</sup> | RESIDU<br>SEC | DEGRE<br>hydroti-<br>métrique | pH   | NO <sup>3</sup> |
|-----|-----|-----|-------|-----------------|-----------------|---------------|-------------------------------|------|-----------------|
| 44  | 6   | 55  | 61    | 52              | 39              | 200           | 13°                           | 6,9  |                 |
| 102 | 20  | 128 | 213   | 144             | 72              | 740           | 33°                           | 7,2  |                 |
| 89  | 19  | 98  | 160   | 135             | 66              | 536           | 29°                           | 7,1  |                 |
| 57  | 58  | 184 | 355   | 122             | 60              | 760           | 38°                           | 7,3  |                 |
| 187 | 25  | 196 | 462   | 251             | 81              | 1.252         | 56°                           | 7,3  |                 |
| 302 | 69  | 414 | 852   | 487             | 111             | 2.500         | 102°                          | 7,6  |                 |
| 318 | 56  | 718 | 1.076 | 761             | 147             | 3.128         | 100°                          | 7,1  |                 |
| 127 | 42  | 230 | 355   | 145             | 150             | 1.060         | 42°                           | 7,3  |                 |
| 75  | 18  | 102 | 142   | 179             | 36              | 508           | 26°                           | 7,35 |                 |
| 95  | 9   | 37  | 54    | 157             | 57              | 440           | 27°                           | 7,8  |                 |
| 49  | 9   | 55  | 84    | 91              | 30              | 390           | 16°                           | 7,1  |                 |
| 39  | 8   | 32  | 45    | 49              | 27              | 270           | 13°                           | 7,1  |                 |
| 82  | 55  | 253 | 383   | 297             | 54              | 1.192         | 42°                           | 7,6  |                 |
| 84  | 22  | 100 | 174   | 162             | 45              | 626           | 29°                           | 7,4  | 28              |
| 61  | 10  | 55  | 89    | 100             | 33              | 380           | 19°                           | 7,5  | 25              |
| 77  | 14  | 104 | 121   | 148             | 66              | 590           | 24°                           | 7,5  | 32              |
| 158 | 53  | 287 | 332   | 322             | 39              | 1.365         | 60°                           | 7,7  | 27              |
| 124 | 36  | 201 | 408   | 173             | 33              | 1.010         | 45°                           | 7,6  | 19              |
| 104 | 25  | 108 | 195   | 179             | 53              | 700           | 35°                           | 7,6  | 45              |
| 151 | 36  | 115 | 311   | 148             | 66              | 1.030         | 51°                           | 7,1  | 25              |
| 555 | 112 | 334 | 1.349 | 441             | 36              | 2.990         | 181°                          | 6,9  | 20              |
| 13  | 11  | 30  | 59    | 35              | 23              | 190           | 8°                            | 7    |                 |
| 14  | 5   | 26  | 35    | 40              | 10              | 150           | 5°                            | 6,9  |                 |
| 92  | 19  | 97  | 160   | 159             | 54              | 780           | 30                            | 7,1  |                 |
| 162 | 22  | 124 | 193   | 368             | 57              | 976           | 48°                           | 7,2  |                 |
| 120 | 29  | 158 | 298   | 214             | 45              | 970           | 41°                           | 7,2  | 13              |
| 144 | 28  | 113 | 316   | 136             | 36              | 1.130         | 46°                           | 7,2  |                 |
| 212 | 33  | 190 | 355   | 348             | 66              | 1.492         | 65°                           | 7,9  | 25              |
| 293 | 64  | 236 | 426   | 615             | 80              | 1.920         | 97°                           | 7,9  | 31              |
| 362 | 32  | 345 | 674   | 582             | 69              | 2.300         | 101°                          | 7,8  |                 |
| 196 | 42  | 207 | 338   | 408             | 69              | 1.424         | 65°                           | 7,7  | 32              |
| 86  | 12  | 161 | 169   | 243             | 42              | 750           | 26°                           | 7,4  | 11              |
| 267 | 65  | 651 | 994   | 742             | 77              | 2.850         | 91°                           | 7,9  |                 |
| 77  | 17  | 69  | 136   | 132             | 30              | 500           | 26°                           | 6,8  | 8               |
| 68  | 12  | 84  | 114   | 157             | 33              | 490           | 21°                           | 6,8  | 11              |
| 74  | 8   | 85  | 131   | 90              | 51              | 530           | 21°                           | 7,3  | 13              |
| 71  | 10  | 92  | 124   | 167             | 42              | 482           | 21°                           | 7,5  |                 |
| 59  | 17  | 48  | 71    | 90              | 85              | 474           | 21°                           | 7,1  |                 |
| 43  | 10  | 39  | 53    | 27              | 49              | 284           | 14°                           | 6,9  |                 |

Les pendages observables dans le Nubien, présentent deux caractéristiques :

D'une part, leurs valeurs faibles de l'ordre de 3 à 5°, qui vont en décroissant lorsqu'on s'écarte des bords de la falaise. Ceci est visible dans les buttes qui, à l'intérieur de la hamada, se trouvent à 2 ou 3 km. au S. de l'ouadi et dans les différentes alvéoles qui le compartimentent.

D'autre part, leurs directions qui, vers Oubari et vers Khlef et el Abiodh, sont orientées au S. alors qu'à l'O. et à l'E. de Tékertiba elles le sont respectivement au S.S.O. et au S.S.E.

Ce dernier fait trahit l'existence, à hauteur de ce village, d'une faible ondulation anticlinale de peu d'importance, dont l'axe passe précisément par le point où les deux tronçons de l'ouadi el Ajal changent de direction. L'importante ligne d'érosion que représente la falaise qui s'étire depuis Anaï au S. du Messak Mellet, jusqu'à el Abiodh, reste en quelque sorte constamment perpendiculaire aux lignes de plus grande pente des « couches nubiennes », sauf vers Tékertiba où existe une ondulation radiale.

Hormis le Nubien, les seuls dépôts qu'on rencontre sont constitués par deux placages horizontaux de calcaires et marnes sableuses du Paléogène supérieur observés vers Ghreifa déjà décrits (p. 76), par des dépôts détritiques récents sableux et dunaires situés vers l'erg, ou graveleux et alluvionnaires tapissant le fond de la dépression sur une épaisseur faible vers l'E. (3 m.) et croissante vers l'O. (de l'ordre de 20 m.), et par des formations salées de sebkhras (p. 68). Il faut encore signaler une formation de tourbe marneuse située au S.E. de Ghreifa et intercalée dans des terrains marno-sableux et à galets. Elle se trouve à environ deux mètres au dessus du niveau de la nappe qui apparaît dans une fogghara voisine. Ses produits ne sont pas utilisés.

## 2. — HYDROLOGIE

### a) LES POINTS D'EAU

#### 1. — *Description — Répartition*

Comme dans le Bouanis, le seul type de point d'eau qui existe dans l'ouadi el Ajal est le puits : 650 ont été recensés pour près de 10.000 habitants. Certains d'entre eux sont équipés de deux et même trois dalous.

Si dans leurs formes extérieures, les puits paraissent être identiques d'el Abiodh à Oubari, il convient de remarquer toutefois qu'on peut les classer en deux catégories qui correspondent sensiblement au Chergui et au Gharbi (Pl. VI; Tabl. 34 et 35).



a) Dans le *Chergui*, le plan d'eau est en moyenne situé entre 7 et 12 m. sous la surface du sol. Cette distance tend à diminuer vers el Abiodh car dans cette direction, la topographie s'abaisse légèrement. Les puits sont foncés dans la roche en place, consistante, parfois très dure. Leurs fonds s'arrêtent en général, sur des grès très résistants, compacts, brun-clair.

b) Dans le *Gharbi*, le plan d'eau est, en moyenne, situé entre 3 et 5 m. sous le sol. Les dépôts alluvionnaires étant plus épais du fait que la dépression est plus large que dans la région précédente, les puits sont foncés dans les terrains de recouvrement : leurs fonds atteignent rarement la roche en place. On trouve ainsi en majorité des puits se présentant sous forme de larges entonnoirs surbaissés d'où sort un échafaudage de troncs de palmiers aux tendeurs et amarres multiples, sur lequel est accroché le dalou (Pl. XXIII, fig. 5; Pl. XXIV, fig. 3). Le terrain très peu consistant, impose aux travailleurs munis des outils rudimentaires qu'on trouve sur place, un point d'approfondissement limite où l'eau pour soudre, met moins de temps qu'il n'en faudrait pour évacuer le matériel éboulé : les puits n'ont ainsi jamais de hauteur d'eau supérieure à 1 m. ou 1 m. 50. Le volant dont disposent les indigènes pour leur irrigation est ainsi très faible à cause de la forme conique du fond.

Lorsque les villages sont à un point où la falaise est proche de la ramla, l'épaisseur d'alluvions étant moins grande, on peut trouver des puits, coniques au sommet, et foncés ensuite en terrains consistants jusqu'à une dalle de grès plus durs qui rebuta les efforts des indigènes.

L'alimentation des puits est latérale lorsqu'ils sont foncés en terrains alluvionnaires : l'eau dans ce cas est froide et souvent salée ou saumâtre, si les puits sont restés longtemps en repos. Lorsqu'ils sont foncés dans des terrains consistants en place, l'alimentation se fait alors, surtout par le fond : l'eau est généralement plus tiède et plus douce.

Le débit est variable et fonction de la profondeur<sup>1</sup>. Nous avons déjà constaté en d'autres régions que qualités et températures des eaux dépendaient, dans une certaine mesure de ce facteur et pratiquement du même coup, du débit du point d'eau.

Les indigènes rapportent qu'à Jerma, vers la sebkhra, existe une pierre qu'il suffit de soulever pour que l'eau coule doucement. Ce fait qui appartient maintenant à la légende, peut avoir existé réellement : cette pierre peut n'être autre chose qu'une des dalles qui marquent le fond des puits de la région et qui venait localement à l'affleurement; elle a du être recouverte depuis par le sable.

---

1. — Une expérience a été tentée à Oubari où, après avoir pris quelques précautions, on réussit à approfondir un puits (n° 381) d'environ 1 m. 40. Le niveau de l'eau se trouva alors à 0 m. 30 plus haut qu'initialement.

Une source coule quelquefois à Khlef; lors de notre passage, elle ne donnait pas d'eau.

Enfin citons les foggharas qui existent en grande quantité dans l'ouadi : toutes sont actuellement ruinées à l'exception de deux dont un tronçon a été restauré. Groupées en majorité vers Khlef, Bend-Beya, vers Jerma-Ghreifa et aussi au-delà d'Oubari, on en rencontre en fait d'un bout à l'autre de l'ouadi el Ajal. Elles sont trahies par la présence d'un bourrelet de terrains qui jalonne le parcours en profondeur de la tranchée. Des regards, actuellement effondrés, permettaient d'accéder à celui-ci pour l'entretien.

Elles sont en général disposées en éventail à partir du point où sont les jardins; leur but, s'il pouvait consister à aller recueillir un suintement provenant d'un couche affleurant au pied de la falaise<sup>1</sup>, était surtout de drainer les larges alvéoles qui s'étendent entre celle-ci et l'erg; ceci pour collecter l'eau ainsi recueillie et l'amener par gravité, en vue de l'irrigation, à l'orée des jardins situés en contre-bas des terrains qui s'étendent entre eux et la falaise, sans qu'un puisage soit toujours nécessaire. Leur nombre, le cubage des terrains remués (leur longueur atteint souvent 2 ou 3 kms), la profondeur de ces tranchées couvertes (3 à 6 m. et plus...), leur entretien, permettent d'imaginer l'importance des travaux réalisés qui donnent une mesure de la prospérité qui régna durant certaines périodes.

On ne peut guère tirer de renseignements de l'étude des températures car les mesures consignées ont été effectuées sur des puits qui se trouvaient dans des états différents : en activité, en voie de remplissage ou en sommeil.

L'étude des débits est impossible.

## 2. — *Les niveaux statiques*

Le niveau statique reste à peu près constamment situé entre 455 et 475 m. avec minimum vers el Abiodh. On ne peut faire grand cas des valeurs consignées pour Tin Abunda et pour Seniet situés à l'O. d'Oubari, car nous n'avons pu effectuer sur ces mesures les corrections nécessaires. Plus au S., ces cotes semblent se maintenir et même diminuer puisqu'on trouverait la nappe voisine de 462 m. 50 à bir Endjaren, et de 447 m. vers Ghoddoua.

La voussure de Tékertiba qui partage l'ouadi el Ajal en deux bassins ne paraît pas affecter l'allure de la surface piézométrique de la nappe.

1. — Les couches de terrain sont inclinées dans un sens et la topographie dans un autre, opposé; aussi dans une alvéole, ce ne sont pas les mêmes couches qui d'un bout à l'autre, viennent à l'affleurement. La disposition rayonnée des foggharas ne semble donc pas dépendre de ce facteur.

## b) LES RÉSULTATS D'ANALYSES

Malgré des variations assez importantes dans la valeur des résidus secs (minimum 200 mg/l à Tékertiba, maximum 4.626 mg/l à Khlef) les teneurs en ions  $\text{CO}_3$ , qui atteignent exceptionnellement 150 mg/l, et en ions Mg restent, généralement, très faibles.

Nous avons groupé dans la figure 24 les courbes des analyses de prélèvements répartis d'un bout à l'autre de l'ouadi; y sont consignés les tracés d'eaux d'Oubari (n° 380, courbe 1), Jerma (n° 356, courbe 2), Touache (n° 393, courbe 3), Tékertiba (n° 408, courbe 4), Graya (n° 412, courbe 5), el Abiodh (n° 419, courbe 6) et du sondage de Ghreifa (n° 523).

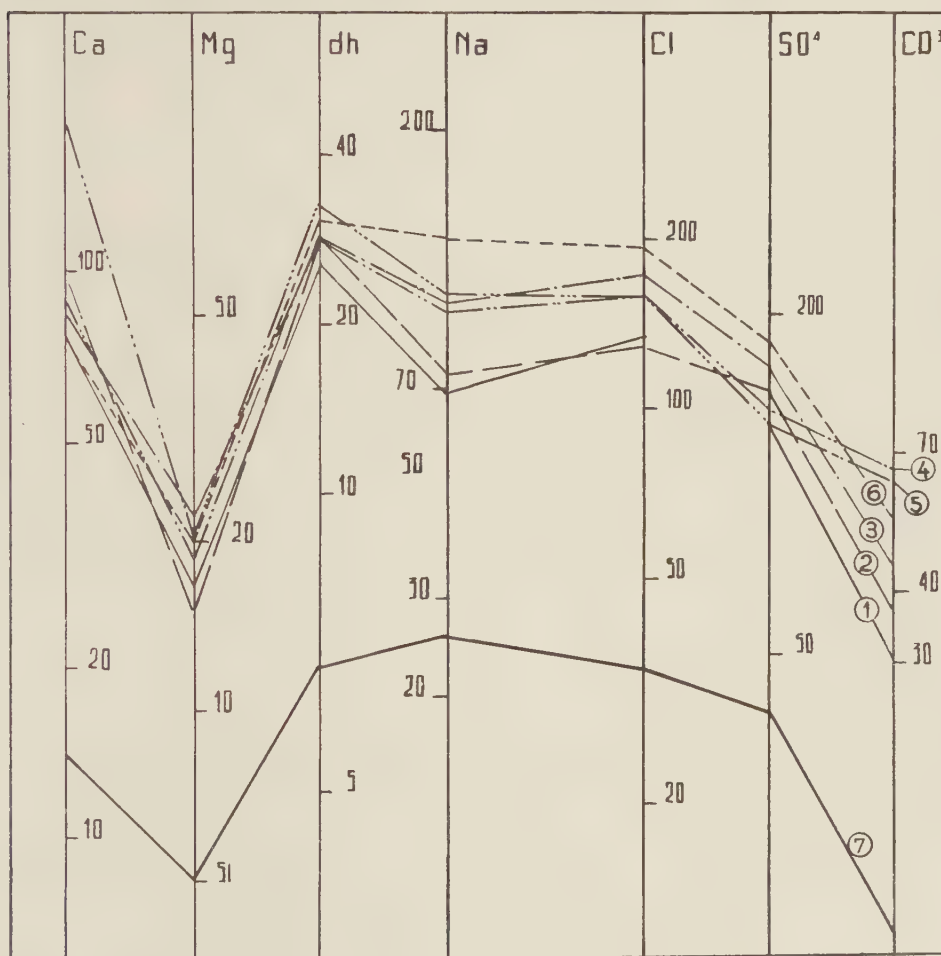


FIG. 24. — EAUX DE L'OUADI EL AJAL. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.  
1 : 380 (Oubari). — 2 : 356 (Jerma). — 3 : 393 (Touache). — 4 : 408 (Tékertiba). — 5 : 412 (Graya). — 6 : 419 (El Abiodh). — 7 : 523 (Sondage de Ghreifa)

On peut remarquer que tous ces tracés, s'ils ne résultent pas d'un mouvement de translation absolument fidèle, sont parfaitement groupés : ces eaux sont d'une même famille (Tabl. 36).

Contrairement à ce que nous avons pu remarquer jusqu'à présent, les teneurs en ions Ca et Mg sont relativement fortes (donc fort est le degré hydrotimétrique qui provoque une pointe dans la courbe). D'autre part, les variations des teneurs en  $\text{CO}^3$  deviennent grandes.

TABLEAU 36

Tableaux des r % dans les eaux du diagramme de la figure 24

| N° B.I.R.H.                   | OUBARI<br>(380) | TOUACHE<br>(393) | TÉKERTIBA<br>(408) | EL ABIODH<br>(419) |
|-------------------------------|-----------------|------------------|--------------------|--------------------|
| r % Ca.....                   | 24,6            | 20,7             | 22,3               | 17,5               |
| r % Mg.....                   | 8,6             | 8,4              | 7,6                | 7,4                |
| r % Na.....                   | 18,5            | 22,7             | 21,3               | 25,4               |
| TOTAL cations.....            | 51,7            | 51,8             | 51,2               | 50,3               |
| r % Cl.....                   | 24,6            | 24,7             | 22,8               | 25,4               |
| r % $\text{SO}^4$ .....       | 17,2            | 15,8             | 14,7               | 12,2               |
| r % $\text{CO}^3$ .....       | 6,1             | 7,4              | 11,1               | 7,8                |
| TOTAL anions.....             | 47,9            | 47,9             | 48,6               | 49,4               |
| Concentration en Equivalents. | 16,2            | 20,2             | 19,7               | 22,8               |

Sur la figure 25 sont reportés les résultats des analyses d'eaux de Brik (n° 398, courbe 1 et n° 399, courbe 4), Touache (n° 394, courbe 2 et courbe 3), et du sondage de Ghreifa (n° 523).

Le mouvement dans le sens de la concentration est net. Il y a cependant deux points intéressants à souligner.

A Brik, les prélèvements ont porté sur deux puits différents, le premier (n° 398) était en activité et foncé en terrains durs en place, le deuxième (n° 399) provient d'un puits qui était en repos et foncé en terrain alluvionnaire. Il y a eu enrichissement très nets en ions Cl, Na et Mg et un appauvrissement en ions Ca. Ce caractère se retrouve dans les eaux de Touache : en ce point les prélèvements ont porté sur un puits en état de puisage (n° 394) et sur un puits près d'être rempli (n° 393).

Il semble qu'un mouvement dans le sens de la concentration soit accompagné d'une dissolution de sels qui élève les teneurs en ions Na, Cl et Mg. La pointe provoquée par la valeur élevée du degré hydrotimétrique di-



minue et disparaît à la suite de l'affaiblissement de la teneur en alcalino-terreux. Les eaux ont tendance à prendre un caractère calcaro-magnésien opposé au caractère calcaire initial.

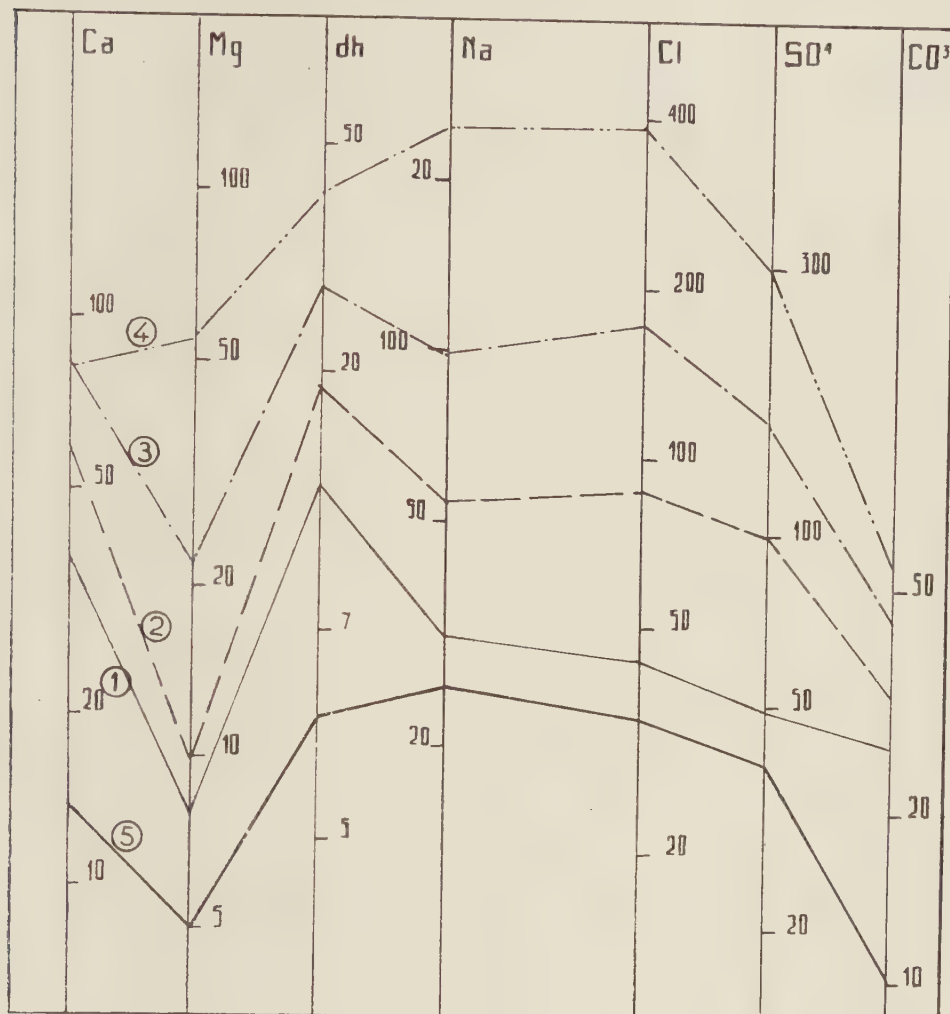


FIG. 25. — EAUX DE L'OUADI EL AJAL. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.  
1 : 398 (Brik). — 2 : 394 (Touache). — 3 : 393 (Touache). — 4 : 399 (Brik). — 5 : 523 (Sondage de Ghreifa).

La figure 26 contient les tracés figurant les analyses d'eaux de Tin Abunda (n° 444, courbe 1), el Hatya (n° 398, courbe 2 et n° 387, courbe 3), ed Dissa (n° 384, courbe 4), Touioua (n° 401, courbe 5), Khlef (n° 415, courbe 6) et du sondage de Ghreifa (n° 523).

En superposant les courbes de la figure 25 sur celui-ci, entre l'eau de Tin Abunda et celle de ed Dissa, on saisit le processus d'évolution géné-

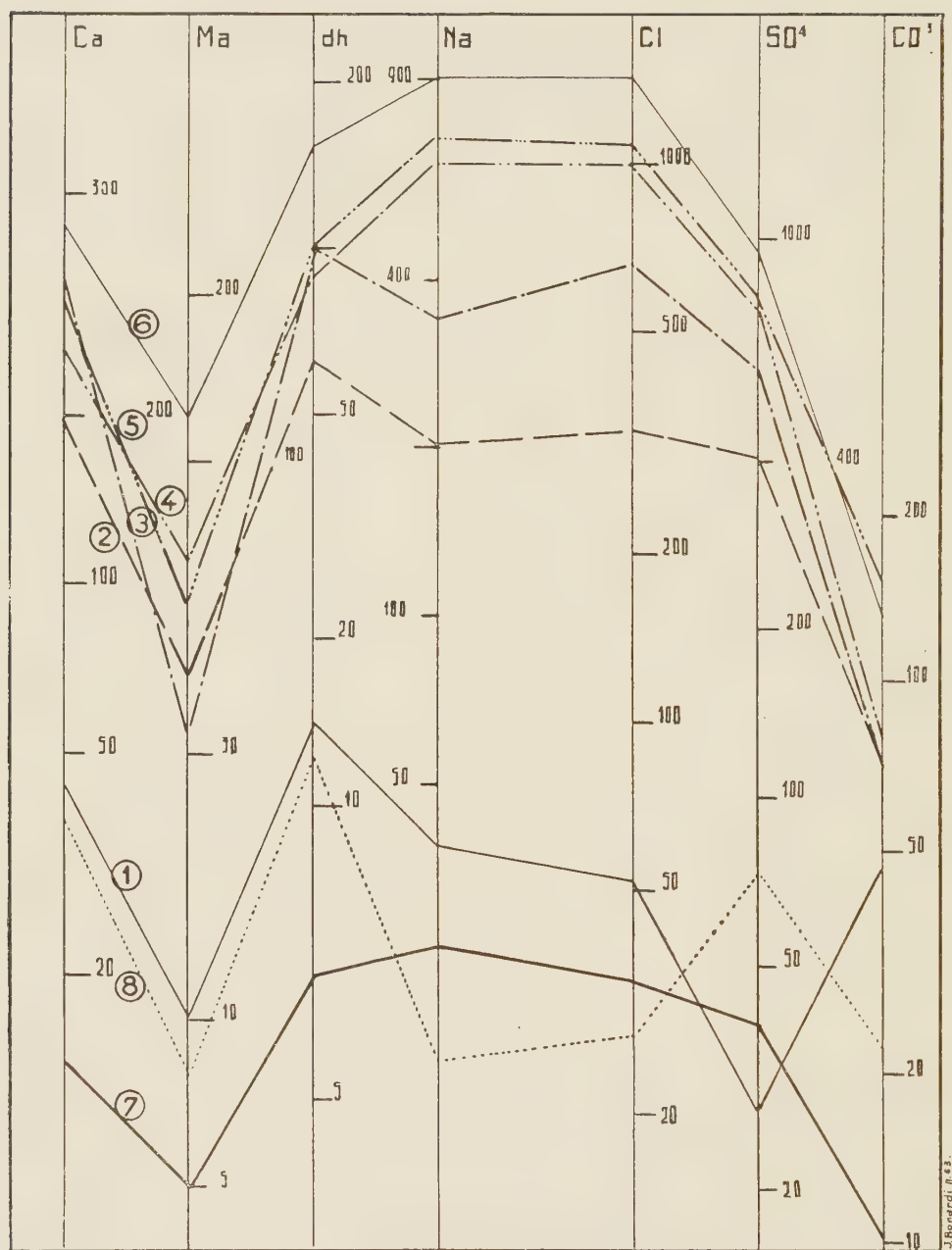


FIG. 26. — EAUX DE L'OUADI EL AJAL. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.

1 : 444 (Tin Abunda). — 2 : 398 (El Hatya). — 3 : 387 (El Hatya). — 4 : 384 (Ed Dis-sa). — 5 : 401 (Touioua). — 6 : 415 (Khelif). — 7 : 523 (Sondage de Ghreifa). — 8 : 451 (Gorda).

rale qui mène aux extrêmes. On peut remarquer que les éléments de courbes sont globalement parallèles sauf en ce qui concerne les ions Cl et Na dont la teneur croissante finit par donner aux courbes une forme convexe régulière.

La concentration des eaux, dans les lieux proches de la *ramla*, provoque un enrichissement en Cl Na qui conduit à une sorte de courbe type (courbes 4, 5 et 6 dont les r % sont précisés dans le Tableau 37).

TABLEAU 37

Tableau des r % dans les eaux du diagramme de la figure 26

| N° B.I.R.H.                   | ED DISSA<br>(384) | TOUIOUA<br>(401) | KHLEF<br>(415) | EL ABIODH<br>(419) |
|-------------------------------|-------------------|------------------|----------------|--------------------|
| r % Ca.....                   | 14,2              | 16,1             | 16,2           | 17,5               |
| r % Mg.....                   | 5,8               | 4,7              | 7,4            | 7,4                |
| r % Na.....                   | 30,6              | 29,5             | 29,5           | 25,4               |
| TOTAL cations.....            | 50,6              | 50,3             | 53,1           | 50,3               |
| r % Cl.....                   | 30,6              | 29,5             | 29,5           | 25,4               |
| r % SO <sup>4</sup> .....     | 15,8              | 15,2             | 14             | 16,2               |
| r % CO <sup>3</sup> .....     | 2,8               | 4,7              | 3,3            | 7,8                |
| TOTAL anions.....             | 49,2              | 49,4             | 46,8           | 49,4               |
| Concentration en Equivalents. | 94,7              | 105              | 135,5          | 22,8               |

Nous avons rappelé les résultats concernant une eau d'el Abiodh (n° 419) citée sur la figure 24 parce qu'elle sert d'intermédiaire entre le tableau des r % de la figure 26 et celui de la figure 24; de l'eau n° 384 par l'eau 419, à l'eau 380, il y a une augmentation régulière des r % de Cl et de Na, avec, par contre-coup une diminution régulière des autres ions dosés.

Sur la figure 27 sont portés les tracés correspondants aux analyses d'eau de Tékertiba (n° 406, courbe 1), el Hamra (n° 416, courbe 2), Ou-bari (n° 382, courbe 3) et el Abiodh (n° 418, courbe 4 et n° 419, courbe 5).

Toutes ces eaux se traduisent par des courbes sensiblement identiques à celles que nous venons de présenter. La différence qui existe avec les autres tracés d'eau de l'ouadi rencontrés jusqu'à présent, résident dans le sommet plat inhabituel des courbes.

L'eau de el Abiodh (n° 419) déjà citée sur la figure 24 et que nous avons rappelée sur celui-ci, comme nous l'avons fait sur le tableau 37, montre que cette différence n'est qu'apparente (Tabl. 38).

TABLEAU 38

Tableau des r % dans les eaux du diagramme de la figure 27

| N° B.I.R.H.                   | OUBARI<br>(382) | EL ABIODH<br>(418) | EL HAMRA<br>(416) | EL ABIODH<br>(419) |
|-------------------------------|-----------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| r % Ca.....                   | 24,2            | 18,8               | 18,7              | 17,5               |
| r % Mg.....                   | 4,4             | 8                  | 7                 | 7,4                |
| r % Na.....                   | 24,2            | 25,4               | 23,9              | 25,4               |
| TOTAL cations.....            | 52,8            | 51,2               | 49,6              | 50,3               |
| r % Cl.....                   | 24,2            | 25,4               | 23,9              | 25,4               |
| r % SO <sup>4</sup> .....     | 12,1            | 13,2               | 13,6              | 16,2               |
| r % CO <sup>3</sup> .....     | 10,9            | 8,9                | 8,9               | 7,8                |
| TOTAL anions.....             | 47,2            | 48,5               | 46,4              | 49,4               |
| Concentration en Equivalents. | 15,7            | 21,2               | 21,3              | 49,4               |

Toutes ces eaux sont chargées en ions Cl et Na relativement au résidu sec, ce qui fait moins ressortir la pointe du degré hydrotimétrique.

#### c) LE SONDAGE DE GHREIFA

Pour des raisons d'ordre divers, l'emplacement du sondage qui devait être réalisé dans l'ouadi el Ajal dans un but de reconnaissance par une core-drill Sullivan 200, fut choisi voisin de Ghreifa (n° 523). L'observation de la coupe des terrains rencontrés permet de les grouper suivant la répartition suivante :

|        |          |                                            |                        |
|--------|----------|--------------------------------------------|------------------------|
| 8      | à 18     | m. : terrains de recouvrement post-nubiens |                        |
| 18     | à 90     | m. : série gréseuse                        |                        |
| 90     | à 125    | m. : série argilo-gréseuse                 | } couches<br>nubiennes |
| 125    | à 317,70 | m. : série argileuse                       |                        |
| 317,70 | à 333    | m. : grès et poudingues                    |                        |

Ce dernier horizon dans lequel s'est coïncé l'outil, est constitué par des grès tendres à intercalations de graviers et galets d'allures conglomératiques, fréquentes dans la série nubienne

M. ARNOULD, Géologue de la D.T.P., qui put observer les échantillons du forage, ne signale aucune passée calcaire susceptible d'être assimilée au Viséen dont c'est, dans cette région, le faciès spécifique.



Le fonds du puits est à —167 m. 60 et le sommet des crépines à —133 m. 50. Deux zones ont été étudiées.

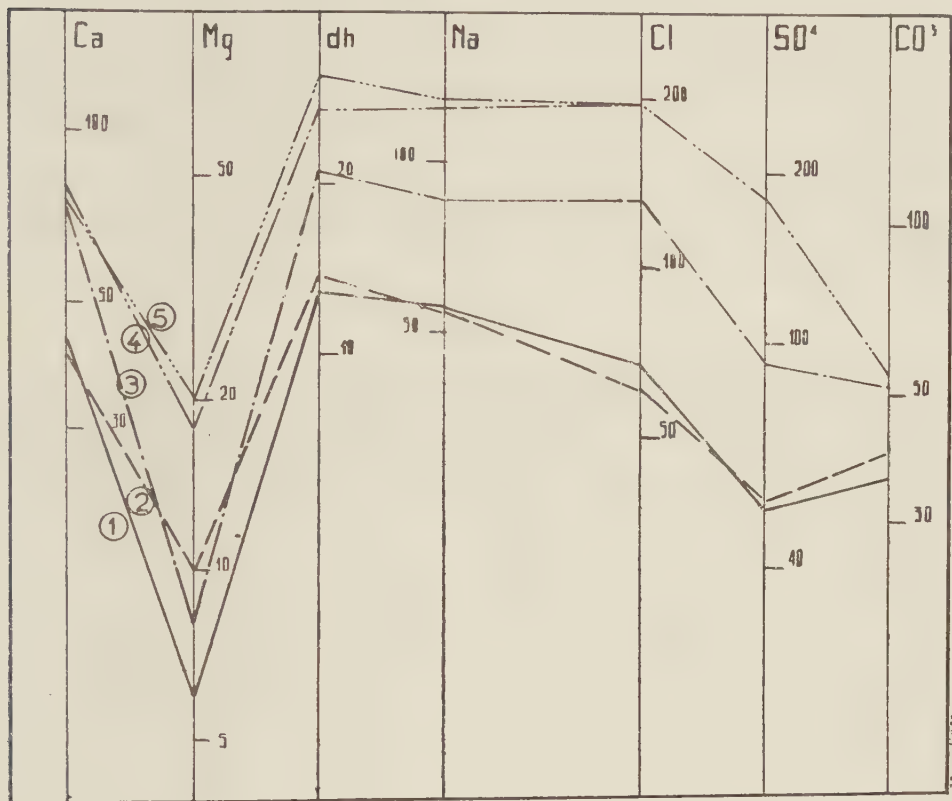


FIG. 27. — EAUX DE L'OUADI EL AJAL. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.

1 : 406 (Tekertiba). — 2 : 416 (El Homra). — 3 : 382 (Oubari). — 4 : 418 (El Abiodh). — 5 : 419 (El Abiodh).

Entre 32 et 89,50 m. en avril 1948; après un lavage rapide, 30 soupapes furent tirées sans variation du niveau statique immuable, à — 13,54 m.

Entre — 113,50 et — 167,60 m. en janvier 1949; après lavage, un soupapage donna un débit moyen de 0,87 l./sec.; le niveau statique se stabilisa à — 13,85 m. Malgré une remontée de sables dans les crépines jusqu'à 137 m., et malgré la méthode utilisée qui ne permit pas de connaître toutes les possibilités de l'horizon étudié, le débit spécifique des terrains s'avère donc être au moins égal au chiffre intéressant de 2,8.

L'analyse de l'eau prélevée en avril 1949, après que l'équilibre se fut rétabli, révèle que le résidu sec est remarquablement faible (150 mg/l).

Le tracé de l'eau reporté sur les figures 24, 25, 26 montre que, à la pointe due au degré hydrotimétrique et parfois suivant le cas, à la teneur des ions  $\text{SO}^4$  ou  $\text{CO}^3$ , près, les éléments des courbes sont à peu près parallèles à ceux des autres courbes que nous avons citées. La tableau 40 montre que cette eau appartient à la même famille chimique que les eaux de surface.

Le niveau statique du niveau aquifère situé à —167 m. 50 est le même que celui de la nappe exploitée dans l'ouadi el Ajal, comme un nivellement précis a permis de nous en rendre compte.

TABLEAU 39

Tableau comparatif des r % dans les eaux de l'ouadi el Ajal

| N° B.I.R.H.                   | EL ABIODH<br>(419) | KHLEF<br>(415) | SONDAGE<br>(523) | TOUACHE<br>(593) |
|-------------------------------|--------------------|----------------|------------------|------------------|
| r % Ca.....                   | 17,5               | 16,2           | 17,3             | 20,7             |
| r % Mg.....                   | 7,4                | 7,4            | 8,6              | 8,4              |
| r % Na.....                   | 25,4               | 29,5           | 25,9             | 22,7             |
| TOTAL cations.....            | 50,3               | 53,1           | 51,8             | 51,8             |
| r % Cl.....                   | 25,4               | 29,5           | 23,9             | 24,7             |
| r % $\text{SO}^4$ .....       | 16,2               | 14             | 17,3             | 15,8             |
| r % $\text{CO}^3$ .....       | 7,8                | 3,3            | 6,5              | 7,4              |
| TOTAL anions.....             | 49,4               | 49,4           | 47,7             | 47,9             |
| Concentration en Equivalents. | 22,8               | 135,5          | 4,6              | 20,2             |

Il est remarquable que l'eau de l'horizon étudié, isolée de la nappe de surface, présente, avec une concentration en Equivalents très faible, des caractères communs avec des eaux de degré de salures très différentes aussi bien avec l'eau n° 416 de el Hamra de 284 mg/l, qu'avec l'eau n° 415 de Khlef chargée de 4.626 mg/l.

### 3. — HYDROGEOLOGIE

Les conclusions qui ont été formulées à propos de l'étude du Bouanis (pp. 177-178), pourraient être reprises ici :

Le système hydraulique auquel appartient la nappe exploitée, s'étend aussi bien latéralement qu'en profondeur, et, comme la structure géologique, dépasse le cadre délimité par la région étudiée.

Le niveau statique de la nappe se maintient, aussi bien à l'E. qu'à l'O., à peu près constamment à la cote de 450-460. Il semble cependant qu'il s'abaisse sensiblement vers le Chergui, c'est-à-dire vers l'E.

Il conserve une même valeur pour les horizons aquifères de surface que pour les horizons profonds de 150 m. Ceci démontre que les communications de part et d'autre des formations lenticulaires relevées en affleurement, sont parfaites. Il n'y a aucune *couche-écran* susceptible de se poursuivre au delà de la région étudiée et d'établir une discontinuité notable dans les conditions d'équilibre du système.

Le système unique qui présente en surface des horizons légèrement captifs (témoins les remontées d'eau lors de l'approfondissement des puits) est donc considérable. Le débit spécifique déterminé précédemment, est le signe d'une bonne, si ce n'est excellente, porosité des terrains situés à la cote où furent pratiqués les essais. On en déduit une réserve énorme. Les terrains nubiens sont imprégnés par une nappe d'une unité surprenante.

Sur le plan chimique, il faut noter combien les tracés d'eaux chargées (n° 415) ou peu chargées (n° 444 ou 398) sont différents lorsqu'on supprime tous les tracés intermédiaires qui permettent de jalonner l'évolution des eaux. D'une façon générale lors de la concentration, il y a d'abord une période d'enrichissement en ions  $\text{SO}_4$  et alcalino-terreux, alors que les ions Cl et Na suivent le mouvement de façon plus lente (figures 25 et 27), puis un enrichissement net en ions Cl Na et de façon moins sensible en ions  $\text{CO}_3$  (fig. 26); les eaux 398 et 399 illustrent ce genre d'évolution. Les eaux du sondage (523) paraissent cependant avoir un type particulier; on pourrait leur comparer celles du sondage de Gorda (451): celles-ci sont nettement sulfatées calciques par rapport à celles-là qui sont plutôt chlorurées. Il semble dans le cas de Gorda que les eaux, initialement d'un type comparable à celui de Ghreifa, aient reçu des apports de sulfates alcalino-terreux caractéristiques des eaux communes de superficie. En un mot, il semble que le mélange de deux types d'eaux: eaux profondes (523) et eaux de surfaces sulfatées donnent, suivant les cas, l'eau 451 ou l'eau 398. Comme le forage de Gorda avait permis de le penser, il apparaît que les eaux nubiennes ont un type profond, nous voulons dire propre à la masse nubienne, type qui en superficie se dégrade de façon hétérogène au contact de terrains minéralisés: ces hétérogénéités se traduisent par des écarts sensibles dans le cas des faibles résidus secs, et par des écarts de plus en plus discrets dans celui des concentrations élevées. L'eau de Gorda, à l'ori-

gine peut être moins minéralisée encore que l'eau de Ghreifa (car dans ce dernier cas les pompages antérieurs ont pu provoquer des dissolutions supplémentaires), a été mise au contact des terrains de recouvrement, les tubages débouchant à la base du puits : il en est résulté des dissolutions secondaires qui lui ont donné l'allure que nous connaissons.

D'où, s'il convient de retenir l'existence d'un système hydraulique dans le Nubien, il faut admettre que celui-ci est soumis, en superficie, à des dissolutions secondaires. Ces dissolutions masquent souvent, par leur hétérogénéité, la parenté des eaux superficielles avec les eaux originelles cependant que, le plus souvent, par le jeu des intermédiaires relevés, cette parenté demeure évidente.

#### 4. — COMPARAISON AVEC LES REGIONS VOISINES

Rien sur le plan stratigraphique ou structural n'empêche le système qui règne sur l'ouadi el Ajal, de s'étendre latéralement dans les terrains nubiens. Si bien que ceux-ci peuvent être tant vers le Bouanis que dans l'ouadi, le siège d'un même système hydraulique.

La surface d'équilibre est inclinée vers le N.E. : d'Oubari (470) à el Abiodh (460), à la Sebha (440) et à Oum el Abid (444). Le comportement de la nappe entre l'ouadi el Ajal et le Chati sera étudiée en même temps que l'erg d'Oubari (p. 213).

TABLEAU 40

Tableau comparatif des r % dans les eaux du Bouanis et de l'ouadi el Ajal

|                                     | FORT<br>LECLERC<br>(354) | HAJARA<br>(371) | TOUIOUA<br>(401) | SONDAGE<br>GHREIFA<br>(523) | ED DISSA<br>(384) |
|-------------------------------------|--------------------------|-----------------|------------------|-----------------------------|-------------------|
| r % Ca.....                         | 15,1                     | 15              | 15,1             | 17,3                        | 14,2              |
| r % Mg.....                         | 4,1                      | 4,6             | 4,7              | 8,6                         | 5,8               |
| r % Na.....                         | 30,8                     | 30,9            | 29,5             | 25,9                        | 30,6              |
| TOTAL cations....                   | 50                       | 50,5            | 50,3             | 51,8                        | 50,6              |
| r % Cl.....                         | 24,6                     | 24,9            | 29,5             | 23,9                        | 30,6              |
| r % SO <sup>4</sup> .....           | 16                       | 15,7            | 15,2             | 17,3                        | 15,8              |
| r % CO <sup>3</sup> .....           | 8,4                      | 9,3             | 4,7              | 6,5                         | 2,8               |
| TOTAL anions....                    | 49                       | 48,9            | 49,6             | 47,7                        | 49,2              |
| Concentration en<br>Equivalents.... | 17,85                    | 12,85           | 105              | 4,6                         | 94,7              |



Sur le plan chimique, les qualités des eaux sont pratiquement identiques. La comparaison des divers diagrammes prélevés dans ces régions rend compte de la tenue chimique comparable des eaux des deux régions dont il est question.

Cette identité de caractères prendra toute sa valeur lorsque le système hydraulique qui siège dans le Nubien et règne en ces contrées, pourra être considéré dans son ensemble.

### L'Erg d'Oubari

Le grand erg d'Oubari, que le Zellaf prolonge vers le N.E., est un vaste ensemble sableux qui, sur certaines cartes, est appelé Edeyen. Il est limité au N.E. par le Chati, la zone du Chott et les Gargafs, au N., par la bordure méridionale de la hamada el Homra, à l'E. par le Bouanis et au S. par l'ouadi el Ajal. Vers l'O., il contourne par le N. le Zegher jusque vers Fort-Flatters.

Nous n'en avons étudié que certaines régions situées entre le méridien d'Oubari et Khneir, et qui peuvent être décomposées en trois zones :

a) LA ZONE CENTRALE. — La zone des hautes dunes atteignant souvent 200 m. de hauteur, est située entre le Chati et l'ouadi el Ajal central et oriental. Les *kantaras* qu'on y rencontre sont orientées au N.E. et au N.N.E.; elles délimitent entre elles les vallées nommées, suivant les dialectes, *feidjs* ou *ouadis* (Pl. XIX, fig. 4) où se groupe la rare végétation rencontrée dans ces parages. Nous avons trouvé, à même le sol, dans ces *ouadis*, des tiges de plantes en voie de silicification ou des fulgurites.

C'est dans la partie méridionale de cette zone que se trouve la région des douze lacs qui donnent un caractère si particulier au désert (Pl. V et VI; XX, fig. 1; XXII, fig. 4, 5; XXIII fig. 1, 2, 3).

b) A l'E., le ZELLAF, par opposition aux horizons mouvementés qu'offre la région précédente, se présente comme une surface mollement ondulée, barrée cependant de quelques dunes orientées au N.O. On y trouve, çà et là, de la végétation qui, beaucoup plus rare que dans les *ouadis* précédents, est groupée aux limites septentrionale et méridionale, vers le Chati et vers le Bouanis.

c) A l'O. de la zone que nous appelons centrale, en existe une encore plus dépouillée et monotone que le Zellaf; il s'agit d'une surface uniformément plate, presque d'un sérir sableux, qui est coupée tous les 7 ou 8 kms

TABLEAU 41

Puits observés

| LOCALITES<br>NOM DU POINT D'EAU | N <sup>os</sup> B.I.R.H. | Cote Sol. | TEMPÉRATURES |       | Débit | Cote d'eau |
|---------------------------------|--------------------------|-----------|--------------|-------|-------|------------|
|                                 |                          |           | eau          | air   |       |            |
| MANDARA : B. Dakkar.....        | 420                      | 457       | 18° 1        | 21° 4 |       | 453,5      |
| GABROUN : B. Robach.....        | 425                      | 454       | 20° 1        | 27° 4 |       | 450,8      |
| TADEMKA : puits.....            | 427                      | 470       |              |       |       |            |
| NECHNOUCHA : puits.....         | 429                      | 471       | 19° 1        | 26° 5 |       | 469,9      |
| TROUNA : B. Cheikh Mohamed...   | 431                      | 468       |              |       |       | 463,6      |
| OUM R'SASS : puits.....         | 434                      | 476       |              |       |       | 473        |
| EL EMBA : puits 1.....          | 499                      | 402       | 21°          | 32°   |       | 401,1      |
| EL EMBA : puits 2.....          | 499 <sup>bis</sup>       | 402       |              |       |       |            |
| OUEN-TITI : puits.....          | 497                      | 386       | 23°          | 37°   |       | 385        |
| OUEN-ARAB : puits.....          | 505                      | 392       |              |       |       | 391,5      |

[illegible]

par de brusques dénivellations. Celles-ci constituent, dans la région que nous avons explorée, une série de cinq à six véritables *cuestas* de 20 à 30 m. de hauteur dont la très forte pente ensablée fait face au N. On les retrouve avec les mêmes caractères aussi bien sur le parcours El-Emba-Hatya d'Oubari, que sur celui de Oum R'sass à Oubari, dès la mi-chemin, à peu près, de ces deux trajets.

L'altitude de tous les ouadis de la zone centrale, se maintient au voisinage de 470 m. et s'abaisse vers le N. jusqu'à 420 m. environ. Par contre, l'altitude de la zone occidentale, est toujours de l'ordre de 600 ou 620 m.; celle du Zellaf de l'ordre de 410 à 450 m.

Les points d'eaux restent absents de la région occidentale et du Zellaf où ils n'apparaissent qu'en bordure : par contre, la région centrale, hormis les lacs, est relativement très riche en puits.

## 1. — SITUATION GEOLOGIQUE

Les affleurements sont limités en nature et en nombre : on en trouve dans l'erg d'Oubari et sur la bordure septentrionale du Zellaf.

En dehors des masses sableuses, attribuées au Quaternaire et remaniées depuis leur dépôt, on trouve au fond de chacun des ouadis traversés, des affleurements souvent importants de marnes gréso-sableuses gris-vert, recouvertes d'une couche de calcaires souvent gréseux, patinés, gris-bleu, beige sur la cassure, eux-mêmes quelquefois recouverts de calcaires poudreux, blancs, rognonneux (p. 76) contemporains du Paléogène supérieur. Leurs pendages, en fait assez variables, semblent généralement, mais faiblement, dirigés vers le S.

La puissance maximum visible de ces terrains, atteint à peine 5 à 6 m. Au N. du Zellaf, on peut observer cette série au S. de Brak et à Khneir (p. 76).

En bordure septentrionale et méridionale de l'erg au moment de quitter les alignements d'oasis, apparaissent des couches dinantiennes du Chati, des couches dévoniennes vers Edri et à la limite occidentale des Gargafs, et des couches nubienues vers l'ouadi el Ajal, toutes plus ou moins dissimulées par les sables. Ces formations lorsqu'elles affleurent, sont affectées de pendages toujours très faibles, globalement dirigés vers le S.

L'altitude à laquelle se trouvent ces couches, sur lesquelles reposent le sérir et les dunes, varie entre 440 et 470 m., alors que le passage des *kantaras* oblige souvent à dépasser la cote 670.



Nous avons dépassé cette altitude moyenne lorsque, au S.O. de el Emba et S.S.O. de Oum R'sass, nous avons quitté la zone des *kantaras* pour aborder la partie occidentale de l'erg; nous n'avons plus alors observé d'affleurements calcaires. L'altitude augmenta très sensiblement jusqu'à 600 m. en gagnant vers le S.; c'est alors que nous avons rencontré les *cuestas* que nous avons déjà mentionnées; elles doivent correspondre à des affleurements du Nubien modelés antérieurement à la formation de l'erg, recouverts actuellement de sables et qui devaient présenter l'aspect de ce qu'on peut observer actuellement plus à l'O., entre le Messak et l'ouadi Tisselatin.

Le pendage de ces couches cachées, n'est visible en aucun point, la puissance totale ne peut être évaluée (en structure horizontale, six *cuestas* de 20 à 30 m. donnent un minimum de 120 m.). Ces *cuestas* plongeraient sous l'ouadi el Ajal (abrupt face au N.) dont la coupe se trouverait de ce fait, assez élevée dans la série nubienne (zone moyenne), comme le sondage de Ghreifa le laissait penser.

Nous aurions ainsi du S. vers le N., du Messak à Edri, en même temps qu'un abaissement de la topographie, le passage des *cuestas* gréseuses et argileuses du Nubien, aux *cuestas* de terrains de même âge, recouverts par les sables de l'erg, puis l'apparition de dunes et *kantaras* avec les formations de calcaires et marnes gréseuses, puis à une cote encore plus basse, l'affleurement, sous les dépôts de l'erg, des grès et argiles dévoniens ou dinantiens des Gargafs et du Chati.

## 2. — HYDROLOGIE

Les points d'eau de la partie que nous avons étudiée de l'erg d'Oubari, points qui sont cantonnés dans ce que nous appelons la zone centrale, sont constitués, soit par des puits, soit par des lacs de dimensions variables.

### a) LES PUITS

Ils sont situés (Pl. VIII et Tabl. 41) dans les ouadis et sont entourés d'une végétation souvent abondante. Parfois, leurs bords sont maintenus par quelques branches de gommiers disposées en carré.

1) *Description.* — Le niveau de l'eau est toujours proche de la surface du sol (0 m. 50 à 1 m.). Ils sont plus ou moins comblés par chaque vent de sable et recreusés par la première caravane qui vient à passer: c'est ainsi qu'après l'orage d'avril 1948, nous avons dû débayer le puits de Ouen-Arab, complètement obstrué, afin de pouvoir remplir nos *guerbas* (Pl. XXII, fig. 3).

La faible densité des puits marqués sur la carte (densité d'ailleurs peu commune aux ergs sahariens), n'est pas due au manque d'eau en profondeur : les nomades savent qu'aux endroits propices, qui sont les ouadis pourvus de quelque végétation, il suffit de creuser à une profondeur faible pour trouver un suintement. Les distances séparant chaque puits correspondent à une journée moyenne de marche entre ceux-ci sur les différents trajets fréquentés. Aussi, leur route étant jalonnée par ces puits qui existent depuis de très nombreuses générations et qui suffisent très largement à leurs besoins, les indigènes négligent d'en créer d'autres.

Il arrive que la présence d'une nappe d'eau potable autour d'un lac d'eau salée, permette comme à Mandara, Gabroun et Trouna, l'installation de villages où se sont groupés les indigènes de la tribu méprisée des Daouadas.

Les débits ne sont pas importants et inappréciables : les trous sont, en général, foncés sous les sables, à des profondeurs d'ailleurs variables, dans les terrains de marnes sableuses qui, sous une couche calcaire que nous avons déjà décrite, constitue le substratum de l'erg.

2) *Résidus secs — Teneurs en sels.* — Les résidus secs des eaux sont assez variables et peu élevés : à Nechnoucha, celui-ci atteint exceptionnellement 2.376 mg/l, probablement parce que nous n'avons pas effectué de puisage préalable, si ce n'est pour évacuer les eaux souillées.

En moyenne, les résidus secs sont de l'ordre de 1 g/l qui est une valeur très acceptable en elle-même : il arrive que les teneurs en ions  $\text{CO}_3$  soient, par contre, élevées (138 mg/l pour 552 mg/l de résidu sec à el Emba). Ces teneurs élevées sont probablement dues à la présence, en profondeur, de carbonates de sodium dont l'exploitation peut se faire dans certains lacs, et aussi à la présence, dans le puits ou à son voisinage, de matières végétales ou animales en voie de putréfaction.

Sur la figure 28 ont été consignées les eaux des puits de Tademka (n° 427, courbe 1), Gabroun (n° 424, courbe 2), Oum R'sass (n° 434, courbe 3) et Nechnoucha (n° 429, courbe 4).

Il y a une progression dans le sens de la concentration, qui est très nette, de l'eau du puits de Tademka, réputée très douce comme celle du lac voisin, à celles de Oum R'sass et Nechnoucha qui sont manifestement natronées. D'ailleurs, quoique les indications dues à l'étude des variations du *pH* doivent être maniées prudemment, on peut remarquer une augmentation nette de celui-ci en relation avec le caractère natroné des solutions.

L'eau de Gabroun semble être influencée par un sol gypseux.

Les teneurs en ions Na vont en croissant plus rapidement que la concentration; les teneurs en ions Ca et Mg, par contre, ne croissent pas aussi rapidement que la concentration.

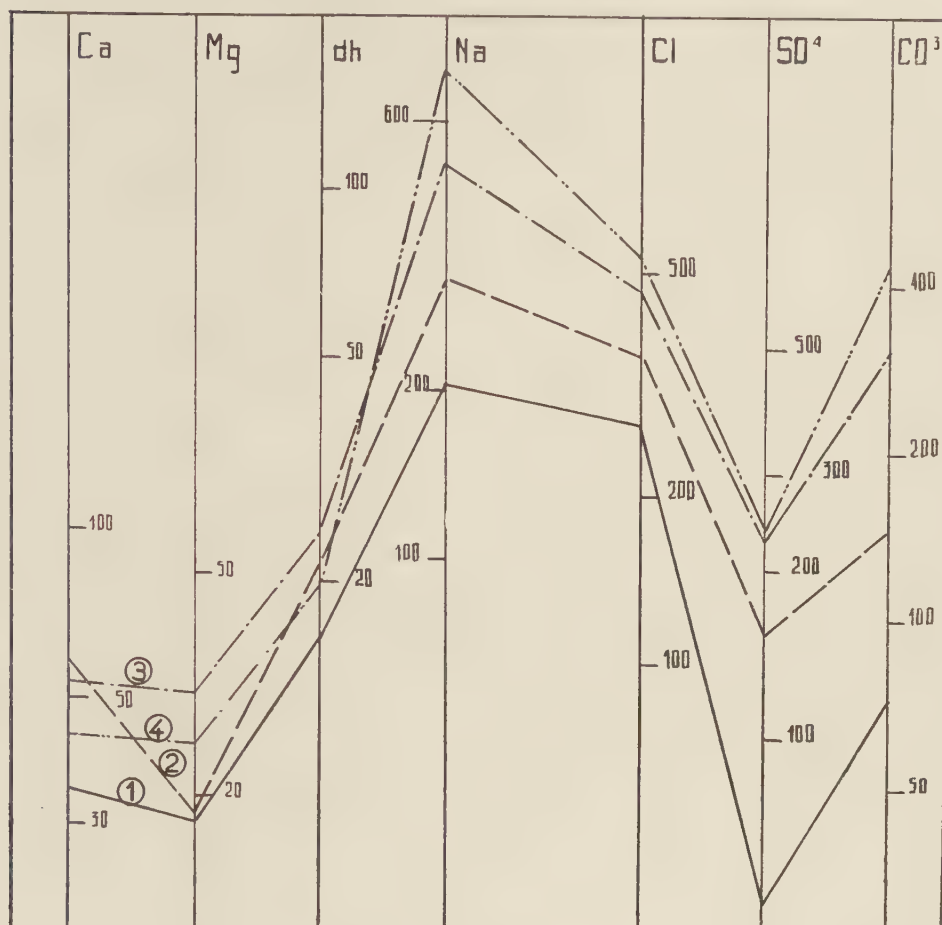


FIG. 28. — EAUX DE L'ERG D'OUBARI. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.  
 1 : 427 (Tademka). — 2 : 424 (Gabroun). — 3 : 434 (Oum R'sass). — 4 : 429 (Nechnoucha).

Sur la figure 29, ont été groupés les tracés des eaux de Ouen Titi (n° 497, courbe 1), Mandara (n° 420, courbe 2) et el Emba (n° 499, courbe 4).

Les eaux 1, 2 et 4 sont de même famille avec, cependant, un caractère natroné pour l'eau n° 4 plus riche en ions  $\text{CO}_3$  et Na que ne l'implique une concentration régulière. L'eau n° 499 bis de el Emba, prélevée après un puisage prolongé, donne une analyse que nous ne pouvons comparer avec le prélèvement initial, car elle est défectueuse.

L'étude des  $r\%$  de ces eaux confirme que toutes présentent entre elles des caractères sensiblement identiques (Tabl. 42), mais cependant avec quelques variations d'un point à l'autre (variation de 4 à 15 pour  $r\%$   $\text{SO}_4$  et de 33 à 18 pour  $r\%$  Cl).

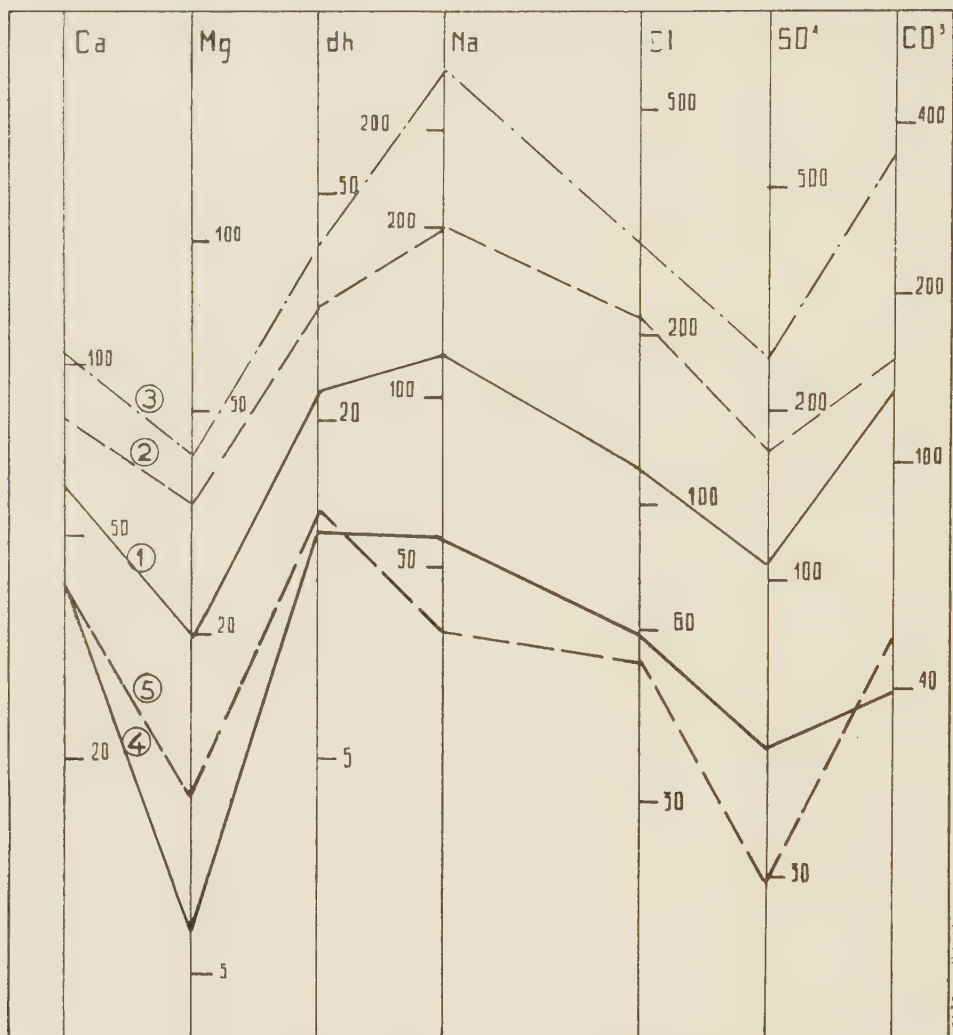


FIG. 29. — EAUX DE L'ERG D'OUBARI. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.  
 1 : 497 (Ouen Titi). — 2 : 420 (Mandara). — 3 : 499 (El Emba). — 4 : 406 (Tekertiba). --  
 5 : 444 (Tin Abunda).

Nous avons rappelé les tracés de deux eaux de l'ouadi el Ajal : n° 406, courbe 4, de Tekertiba et n° 444, courbe 5 de Tin Abunda, de façon à voir si des caractères sont communs aux deux nappes; on peut remarquer que la différence est plus grande entre les tracés 4 et 6 provenant de l'ouadi qu'entre les tracés 4 et 1, 2 etc...

Il y a manifestement une tenue chimique comparable d'une nappe à l'autre : d'autant que sur le plan structural comme sur le plan dynamique, les conditions que nous allons préciser un peu plus loin, sont identiques.



TABLEAU 42

Tableau des r % dans les eaux du diagramme de la figure 28

| N° B.I.R.H.                   | TADEMKA<br>(427) | GABROUN<br>(424) | OUM R'SASS<br>(434) | NECHNOUCHA<br>(429) |
|-------------------------------|------------------|------------------|---------------------|---------------------|
| r % Ca.....                   | 7,6              | 8,1              | 4                   | 5,2                 |
| r % Mg.....                   | 6,3              | 4,3              | 3,8                 | 7,9                 |
| r % Na.....                   | 37,8             | 37,8             | 40                  | 36,1                |
| TOTAL cations.....            | 51,7             | 50,2             | 47,8                | 49,2                |
| r % Cl.....                   | 33               | 27               | 23,8                | 18,1                |
| r % SO <sup>4</sup> .....     | 4,2              | 9,1              | 9,1                 | 15,8                |
| r % CO <sup>3</sup> .....     | 10,5             | 13,5             | 18,5                | 16,7                |
| TOTAL anions.....             | 47,7             | 49,6             | 51,4                | 50,6                |
| Concentration en Equivalents. | 23,6             | 37               | 54,4                | 44,2                |

Il est possible que les dunes elles-mêmes retiennent à leur base un système hydraulique d'importance faible; celui-ci se trouverait à leur base au contact des terrains marno-sableux et calcaires. Nous n'avons cependant pas reconnu dans les études chimiques effectuées précédemment, de différence nette entre une eau de puits voisin de lac, et une eau de puits isolé, foncé dans le sable ou manifestement foncé en terrains paléogènes supérieurs.

#### b) LES LACS

En général peu profonds, la plupart d'entre eux sont permanents et salés. Cependant Tademka a une eau potable (4.104 mg) et trois lacs, sans être ceux dont les eaux ont les résidus secs les plus élevés, sont producteurs de sel gemme et surtout de natron (Tabl. n° 43).

1) *Description.* — A part Mandara, Trouna et Nechnoucha, tous sont dominés du S.E. par une haute dune d'altitude variable mais qui, comme à Gabroun, peut atteindre 150 m. Ils sont très généralement allongés suivant la direction N.E.-S.O., qui est celle des *kantaras* et des *ouadis* environnants.

*Mandara* (n° 421) est le lac le plus proche de l'ouadi el Ajal (une demie journée de Tékertiba) Très étendu (600 m. × 300 m.) il est très peu profond (0 m. 30 à 1 m.) et voit sa superficie diminuer sensiblement en été. Les riverains sont peu nombreux et cantonnés sur la bordure orientale.

TABLEAU 43

Lacs d

| LOCALITES          | N <sup>os</sup> B.I.R.H. | Cote sol | TEMPERATURES |       | Débit | C<br>du<br>d'e |
|--------------------|--------------------------|----------|--------------|-------|-------|----------------|
|                    |                          |          | eau          | air   |       |                |
| Mandara.....       | 421                      | 457      | 27° 5        | 19° 5 |       |                |
| Maharouga.....     | 422                      | 460      | 24° 4        | 31°   |       |                |
| Maafou.....        | 423                      | 470      | 21° 8        | 27°   |       |                |
| Gabroun.....       | 424                      | 450      | 22° 8        | 25°   |       |                |
| Tademka.....       | 426                      | 470      | 17° 8        | 30°   |       |                |
| Oum El Hassan..... | 428                      | 480      | 19° 2        | 17° 2 |       |                |
| Nechnoucha.....    | 430                      | 463      | 29° 5        | 26° 5 |       |                |
| Trouna.....        | 432                      | 463      | 24°          | 19° 5 |       |                |
| Fredgha.....       | 433                      | 475      | 19°          | 24° 5 |       |                |
| Oum R'sass.....    | 435                      | 475      | 18°          | 19° 8 |       |                |
| El Emba.....       | 498                      | 403      | 25° 2        | 32°   |       |                |

ri

| eur<br>an<br>sol | Ca    | Mg    | Na     | Cl      | SO <sup>4</sup> | CO <sup>3</sup> | Résidu<br>sec | Degré<br>hydroti-<br>métrique | pH  |
|------------------|-------|-------|--------|---------|-----------------|-----------------|---------------|-------------------------------|-----|
| 3                | 215   | 302   | 99,820 | 140,590 | 17,963          | 237             | 288,064       | 173°                          | 8,3 |
|                  | 716   | 2,687 | 24,260 | 26,625  | 26,145          | 294             | 83,560        | 1,050°                        | 7,8 |
|                  | 215   | 414   | 35,880 | 46,860  | 14,980          | 1,458           | 106,436       | 217°                          | 8,4 |
|                  | 215   | 95    | 42,550 | 46,860  | 8,940           | 9,750           | 118,226       | 91°                           | 8,4 |
|                  | 57    | 129   | 1,357  | 1,917   | 28              | 570             | 4,104         | 66°                           | 8,4 |
|                  | 3,565 | 3,110 | 28,290 | 56,800  | 2,762           | 81              | 99,912        | 997°                          | 7,9 |
|                  | 143   | 145   | 70,380 | 83,070  | 3,268           | 26,370          | 205,310       | 97°                           | 8,4 |
|                  | 71    | 104   | 51,290 | 45,795  | 20,188          | 19,050          | 148,880       | 64°                           | 8,4 |
|                  | 71    | 143   | 35,880 | 15,620  | 4,826           | 34,050          | 94,052        | 72°                           | 8,4 |
|                  | 143   | 281   | 43,930 | 30,530  | 6,468           | 33,600          | 123,878       | 147°                          | 8,4 |
|                  | 107   | 1,274 | 20,010 | 5,455   | 23,006          | 1,640           | 62,060        | 535°                          | 8,4 |

*Maharouga* (n° 422, Pl. XXII, fig. 56) très voisin du précédent (un quart de journée). Etroit, allongé (500 m.  $\times$  40 m.), assez large vers le N.E., il est lui aussi très peu profond (0 m. 30) et s'assèche en été. Le fond qui est nettement visible, est uniformément argileux; on peut en effet observer de larges fissures atteignant jusqu'à 0 m. 20 de large, disposées en polygones irréguliers dont les diamètres atteignent 4 à 6 m. Ceci correspond à des figures de retrait de la masse argileuse lors de la déshydratation, puis de la dessiccation à laquelle celle-ci est soumise lorsque l'eau disparaît. Nous sommes loin des dimensions rapportées par A. CAYEUX et V. ROMANOVSKY qui ne dépassent guère 0 m. 30 de diamètre [25].

*Maafjou* (n° 423, Pl. XXIII, fig. 3) est à une demie-journée de Maharouga. De superficie moyenne (200 m.  $\times$  100 m.), il est assez profond (1 m. à 3 m.). Son fond est constitué par des grès marneux gris-vert, qui correspondent aux marnes gréseuses observables dans les fonds d'ouadis environnants.

*Gabroun* (n° 424, Pl. XX, fig. 1), se trouve dans le même ouadi que le petit lac précédent. Il a une forme elliptique, étranglée dans la partie S.O.; la superficie est inférieure à celle de Mandara (400 m.  $\times$  175 m.). La profondeur, faible vers le village, s'approfondit dans sa partie orientale. Les divergences relevées dans les témoignages (auxquels se mêle la légende) des indigènes, interdisent de leur apporter une attention quelconque. Durant l'été son niveau varie peu. P. BELLAIR [6] rapporte l'existence d'une variation diurne sensible.

*Tademka* (n° 426) est le seul lac dont l'eau soit peu salée. Petit, à peu près circulaire, d'un diamètre de 100 m. à peine, il est engoncé dans une végétation dense et élevée et est très souvent asséché en été. Sa profondeur dépasserait 1 m. 50 au centre même. Le puits que nous avons déjà cité (n° 427), est en communication avec le lac sans qu'un écoulement se manifeste de l'un vers l'autre.

*Oum el Hassan* (n° 426, Pl. XXIII, fig. 1) est le plus grand lac de la région (800 m.  $\times$  600 m.). Subcirculaire il est, comme toujours, dans la partie basse de l'ouadi au pied de la *kantara* qui le limite immédiatement au S.E. Il a une profondeur moyenne faible sur les bords. Au centre et sur le bord sud-oriental, celle-ci reste inexplorée et, comme c'est fréquent, relève de la fantaisie du moment ou de la légende. Ce lac est permanent; son étendue est variable suivant les saisons.

*Nechnoucha* (n° 430), lac de natron, est petit (50 m.  $\times$  15 m.) et souvent mis à sec en été. Il est exploité par les habitants du lac voisin. Sa profondeur est faible (0 m. 50). Seules quelques marnes subsistent en été. Il semble que son alimentation se fasse à partir de suintements provenant des grès marneux dans sa partie N.



*Trouna* (n° 432) est à quelques kilomètres du précédent. Plus vaste (450 m.  $\times$  60 m.), disposé grossièrement en croissant resserré en son centre, il est peu profond (1 m.) et disparaît en général en été. C'est ce lac qui fournit la part la plus importante du tonnage total de natron extrait.

*Fredgha* (n° 433) est séparé de Trouna par une *kantara*. A peu près circulaire, il est petit (60 m.  $\times$  30 m.), peu profond (0 m. 50) et se dessèche généralement en été. Il produit un natron apprécié.

*Oum R'sass* (n° 435) est un lac allongé (100 m.  $\times$  20 m.), peu profond (0 m. 50) en sorte qu'il s'assèche en été; il est, de temps à autre, producteur de natron.

*El Emba* (n° 498, Pl. XXIII, fig. 2), très à l'écart vers l'O., est de superficie (200 m.  $\times$  100 m.) et de profondeur (1 m.) moyennes. Ce lac serait souvent asséché en été.

D'une façon générale, les puits qui se trouvent près des lacs en sont séparés d'environ 30 à 40 m. en moyenne (exception à Tademka). Leurs niveaux semblent, à l'œil, être identiques à ceux des lacs voisins. P. BELLAIR [6, p. 49] pense cependant qu'à Trouna, il y a des indices suffisants pour conclure à la présence de deux venues d'eau différentes : l'une correspondant au niveau des puits et de la zone couverte de nombreux palmiers, l'autre correspondant au lac.

Les bords des lacs sont presque toujours jalonnés par une croûte de sels très craquelée; ceci plus particulièrement à Oum R'sass et aux trois lacs à natron. D'autre part, la densité de la végétation de bordure semble être inversement proportionnelle à la salure des eaux du lac. Particulièrement dense à Tademka (résidu sec : 4.104 mg/l), la végétation l'est de moins en moins à Maharouga, Oum el Hassan et Maafou, où les résidus secs sont respectivement : 83.560, 99.912 et 106.436 mg/l.

Dans certains lacs, tels que Mandara, Maafou et Gabroun se trouvent des *Artemia salina*, crustacés branchiopodes de petite taille, que pêchent les indigènes pour leur alimentation.

2) *Les analyses — Teneurs en sels.* — L'étude chimique des eaux des lacs ne peut se faire par la méthode des courbes logarithmiques employée jusqu'ici. Les concentrations sont en effet influencées par le jeu des saturations et des cristallisations qui arrêtent la dissolution de tel sel sans influencer celle de tel autre; ainsi l'augmentation du résidu sec, à partir d'une certaine limite, se traduit presque uniquement par un enrichissement en ClNa et Cl<sup>2</sup>Mg.

La méthode des triangles de R. FREY [59] n'est pas plus précise car elle fait intervenir des mesures, comme celle des ions CO<sup>3</sup>, qui ne doivent

pas être considérées relativement aux autres mais en absolu : la marche dans le sens de la concentration ne concernant plus, pour les valeurs des résidus secs très élevées des eaux étudiées, que certains ions.

Le Tableau 44 fait ressortir que, chimiquement, les eaux sont absolument différentes; les valeurs des rapports caractéristiques vont du simple au centuple, alors que nous avons vu que les eaux des puits voisins de chacun de ces lacs, sont au contraire identiques dans leur ensemble.

Si bien qu'il faut conclure que des influences tout à fait locales viennent perturber les caractères initiaux des eaux à Gabroun seulement, le rapport Ca/Mg conserve une valeur identique à celui qu'on trouve dans les eaux des puits où il est partout supérieur à 1.; à Maharouga, le rapport Cl/SO<sup>4</sup> est identique à celui des eaux des puits de l'erg). De plus, il faut tenir compte du fait que, d'un lac à un autre, les saturations en sont à des étapes différentes : là, tel sel peut commencer à précipiter, ce qui se traduit par des rapports variables si on fait intervenir les ions de ce sel. Ici, la concentration se poursuit; théoriquement alors, les rapports entre les ions sont relativement constants.

TABLEAU 44  
Rapports ioniques remarquables des eaux des lacs

| LACS           | $\frac{\text{Ca}}{\text{Mg}}$ | $\frac{\text{Cl}}{\text{SO}^4}$ | LACS           | $\frac{\text{Ca}}{\text{Mg}}$ | $\frac{\text{Cl}}{\text{SO}^4}$ |
|----------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------|-------------------------------|---------------------------------|
| El Emba.....   | 0,04                          | (0,3)                           | Trouna.....    | 0,4                           | 2,2                             |
| Maharouga....  | 0,17                          | 1,4                             | Mandara.....   | 0,4                           | 10,5                            |
| Tademka.....   | 0,25                          | (105)                           | Nechnoucha.... | 0,6                           | 33                              |
| Fredgha.....   | 0,3                           | 2,2                             | Oum el Hassan  | 0,7                           | 27                              |
| Maafou.....    | 0,3                           | 4                               | Gabroun.....   | 1,4                           | 7                               |
| Oum R'sass.... | 0,3                           | 6,2                             |                |                               |                                 |

Au total, on peut trouver quelques analogies entre les eaux de certains lacs par différence avec d'autres sans pour autant les faire entrer dans des groupes nettement distincts, caractéristiques de systèmes hydrauliques différents. Surtout, on peut globalement discerner que la marche des rapports Ca/Mg et Cl/SO<sup>4</sup> est croissante de El Emba et Tademka (où les eaux, à en croire l'analyse, sont respectivement séléniteuses et chlorurées), à Oum el Hassan; on peut encore dire qu'elle est croissante des eaux correspondant aux lacs de la périphérie de la région des lacs, à celles des lacs intermédiaires, et enfin à celles des lacs centraux, parmi lesquels Mandara et même Gabroun, ont cependant une place aberrante.

On peut remarquer que la présence de natron, si elle est géographiquement localisée, n'a aucune influence sur les rapports étudiés qui demeurent peu comparables. Elle est donc chimiquement accidentelle. Nous présentons plus loin (p. 306) l'étude des dépôts de natron et notre façon de concevoir leur formation.

### 3. — HYDROGÉOLOGIE ET COMPARAISON AVEC LES RÉGIONS VOISINES

Sur le plan dynamique, le système hydraulique étudié dans l'erg d'Oubari, peut être rattaché à celui de l'ouadi el Ajal. Pratiquement d'une région à l'autre, la surface piézométrique est horizontale. Sur le plan chimique il est à noter que si l'on fait abstraction des pointes dues aux teneurs élevées en  $\text{CO}^3$  et en Na, on obtient des courbes qui sont pratiquement identiques à celles que présentent les figures 25 et 27 de l'ouadi el Ajal. Le système abordé doit donc avoir son siège dans les couches nubiennes sous-jacentes aux dépôts calcaires et marno-sableux, mais doit être influencé par ces dépôts qui l'imprègne. Contrairement à ce qui se passait dans l'ouadi el Ajal, où de tels dépôts conféraient aux eaux un caractère sulfaté, ces mêmes dépôts confèrent, dans cette région, un caractère natroné; il est à noter, au moins pour la figure 29, que les teneurs en ions  $\text{SO}^4$  et en ions alcalino-terreux n'en sont pas pour autant très faibles. On en vient à penser que ce caractère séléniteux, que, dans l'ouadi el Ajal comme dans le Bouanis, on pensait être le fait de grès marneux du Paléogène supérieur, peut également être dû, pour une certaine part, à une sorte de pollution chimique des zones superficielles nubiennes; celles-ci, en effet, ont pu s'enrichir en sulfates par le jeu d'évaporation, de concentration, de diffusion ou de migration d'ions (une argile nubienne étudiée, cf. p. 107, contient 7,85 % de sels solubles parmi lesquels le  $\text{SO}^4$  Ca intervient pour un tiers). Quoiqu'il en soit, dans la région étudiée, l'influence des terrains du Paléogène supérieur sur les eaux se traduit par une forte teneurs en ions  $\text{CO}^3$  et Na et par une minéralisation qui, dans son ensemble, paraît assez homogène.

La présence de ces lacs dont les eaux sont fortement chargées, lacs qui sont voisins de puits dont les eaux sont pratiquement potables, reste à expliquer. Il est possible que sous cette région de l'erg d'Oubari, dans la « région des lacs », existent des dépôts salés de sebkhras contemporains des dépôts du Paléogène supérieur, et que les lacs constituent des zones vers lesquelles, du fait de la concentration due à l'évaporation, des aspirations de saumure aient lieu. Il est possible également qu'un deuxième phénomène vienne compliquer le premier tel qu'il vient d'être schématisé. En effet, la nappe se manifestant localement de façon libre dans un creux topographi-

que, un mouvement des eaux peut se produire vers la zone de débit que constitue chaque lac (par exemple pour Gabroun, lac d'une superficie d'environ 70.000 m<sup>2</sup>, une évaporation annuelle de 4 m. 50 [56] correspondrait à un débit de l'ordre de 10 l/sec); le rabattement correspondant (cône de dépression) peut alors intéresser une certaine superficie, c'est ce qui peut expliquer que les puits peuvent avoir un niveau d'eau très légèrement supérieur à celui du lac sans qu'il y ait forcément là une nappe distincte. L'eau, si bien profonde que de surface venant latéralement vers cette zone, est en mouvement et se concentre continuellement par évaporation à l'emplacement même où elle apparaît libre. Mais cette évaporation et les conditions physiques extérieures étant irrégulières, les eaux ont la faculté de redissoudre des sels déposés antérieurement ce qui vient compliquer le jeu des saturations et des cristallisations : si bien que, avec le temps, les différences iront en s'accroissant et certains sels apparaîtront (voir à ce propos le cas du lac de T'messa situé dans la Cherguya qui est étudié plus loin, p. 231). Dans trois lacs, situés au N. de la région des lacs, les concentrations permettent une exploitation de natron. Oum R'sass a la réputation d'en produire suivant les années et leur sécheresse.

Le système ainsi décrit avec son homogénéité générale de salure et les perturbations locales que peut provoquer une minéralisation accidentelle en profondeur, se trouve, comme il a été déjà dit, à une altitude voisine de 460 m. en moyenne. La surface d'équilibre, qui se maintient horizontale pratiquement dans la région des lacs (cote très douteuse, car non corrigée de el Emba), s'incline rapidement du lac de Fredgha (475 environ), vers le puits de Ouen-Arab. (392) et vers celui de Ouen-Titi (386), pour reprendre ensuite une faible pente entre ce puits et Edri où elle se manifeste à la cote 380 environ (Pl. XVI, coupe 2).

A la lumière de ces données et des données chimiques, les comparaisons sont possibles entre les systèmes nubiens (ouadi el Ajal, erg d'Oubari). Sur le plan dynamique, il est possible que la forte pente de la surface piézométrique, pente reconnue entre Fredkha et Ouen-Titi, corresponde à l'affleurement sous les dépôts du Paléogène supérieur, des alternances du Dinantien qui sont peu poreuses si on les compare aux grès dévonien ou nubiens. Sur le plan chimique, les eaux dévoniennes du Chati présentent des caractères qui, voisins de ceux des eaux nubien du Bouanis, sont également très comparables à ceux des eaux de l'erg. La comparaison malaisée des diagrammes des eaux de ces diverses régions, est illustrée par le Tableau 45.



TABLEAU 45

Tableau comparatif des r % dans les eaux de l'erg d'Oubari et celles du Chati

| REGIONS                          | CHATI | ERG D'OUBARI |         | CHATI |           |
|----------------------------------|-------|--------------|---------|-------|-----------|
| LOCALITÉS                        | BRAK  | GABROUN      | TADEMKA | BRAK  | OUENZÉRIK |
| N° B.I.R.H.                      | (304) | (427)        | (427)   | (305) | (313)     |
| r % Ca.....                      | 6,8   | 8,1          | 7,6     | 6,35  | 5,8       |
| r % Mg.....                      | 6,1   | 4,3          | 6,3     | 5,7   | 5,8       |
| r % Na.....                      | 37,4  | 37,8         | 37,8    | 37    | 38,7      |
| TOTAL cations....                | 50,3  | 50,2         | 51,7    | 49,5  | 50,3      |
| r % Cl.....                      | 37,4  | 27           | 33      | 35,7  | 38        |
| r % SO <sup>4</sup> .....        | 2,6   | 9,1          | 4,2     | 3     | 4,1       |
| r % CO <sup>3</sup> .....        | 10,6  | 13,5         | 10,5    | 10,7  | 8,3       |
| TOTAL anions....                 | 50,6  | 49,6         | 47,7    | 49,4  | 50,5      |
| Concentration en Equivalents.... | 15    | 17           | 23,6    | 14,95 |           |

### L'ouadi Heutba

Le long d'une faible et large dépression bordée au S. par l'erg de Mourzouk et au N. par la hamada de Mourzouk, sont groupés quelques villages (Pl. IX). Cette dépression, l'ouadi Heutba, située à 35 kms à l'O. de Mourzouk, prolonge vers le S.O. l'ouadi Nescouia, large vallée ensablée qui collecte tous les petits oueds de la hamada et s'étire depuis Ghoddoua et au-delà; elle prolonge également, vers l'E. et le N.E. l'ouadi Berjouj dont le lit se trouve entre erg et hamada de Mourzouk, et qui collecte dans sa partie occidentale, les oueds du Messak Settafet et même du Messak Mellet septentrional.

On ne saurait dire de quel côté est incliné le lit de l'ouadi Nescouia : l'orographie présente l'ouadi Heutba comme une sorte d'estuaire pour les oueds venant de la hamada. L'observation des altitudes montre cependant, avec les réserves attachées déjà à nos mesures, que cette embouchure fossile est à une cote supérieure à celle de Ghoddoua; l'ouadi Nescouia se

présente donc comme un bassin fermé récent dans lequel s'accumulent les sables et les sédiments fins, les *feich-feich*; ceux-ci rendent très difficile l'approche de cette région qu'ils circonscrivent, sauf dans sa partie septentrionale.

Ce comblement de l'embouchure de Doujal, est dû à un relèvement progressif du niveau de base des oueds, à une époque postérieure au dépôt des formations environnantes qu'ils ravinent et que nous avons décrites.

Les villages groupés dans cette région, huit au total, sont presque tous situés sur un alignement orienté au N.O. Deux d'entre eux sont excentriques, situés dans les premières formations sableuses qui annoncent l'erg et entourés de nombreuses sebkhras d'étendues variables.

L'altitude moyenne relevée se situe aux environs de 470 m. (Ghoddoua : 455 m., bir Kerchi à l'O. de l'ouadi Heutba : 485 m.). Une faible pente existe du bord méridional de la hamada vers les terrains formant transition avec l'erg.

#### 1. — SITUATION GEOLOGIQUE

Le Nubien affleure en une étroite bande, au N.O. des villages. Il s'agit surtout de blocs de grès sombres, patinés, quartziteux en bancs assez discontinus, qui émergent des dépôts graveleux qui s'étendent en grande quantité dans ces régions.

Il réapparaît à environ 70 kms à l'intérieur de la hamada vers le N. et vers l'O. à la faveur de quelques garas qui pointent à la surface du sérir qui est légèrement incliné. On accède de la sorte, après quelques paliers plus ou moins élevés (maximum 10 m.) et dont la coupe est le plus souvent cachée par des éboulis, au sommet de la falaise du Messak d'où l'on domine le bas-pays qui s'étend en arc de cercle d'Oubari à Serdelès, Anaï et au-delà.

Outre le Nubien, on rencontre des affleurements de calcaires et marnes sablo-gréseuses du Paléogène supérieur que nous avons décrits (p. 73) notamment vers Doujal, Tessaoua, dans la hamada Mourzouk et vers Ghoddoua.

Leur épaisseur est inappréciable : elle est sûrement supérieure à 30 m. à es-Sbetat où un forage implanté à la cote 445 est descendu à 24 m. de profondeur sans quitter les terrains sablo-marneux gris (à 2 kms à l'E. de ce village, la surface des calcaires gris-beige compacts affleure à la cote 485, ce qui implique un creusement de 40 m. minimum et, postérieurement, un mouvement de comblement). A Ghoddoua, elle est supérieure à 15 m. puisque des puits de cette profondeur n'ont, semble-t-il, pas atteint le Nubien.

Nous avons déjà signalé vers Doujal la présence de brèche calcaire, trace d'un remaniement de ces formations du Paléogène supérieur.

Leur superficie est grande tant vers le N. que vers l'E. Mais Nubien et dépôts de calcaires et marnes-sableuses sont cachés le plus souvent par un sérir de sable et de gravier d'où émergent quelques affleurements gréseux ou calcaires. A l'O. de bir Kerchi, les dépôts précédents disparaissent et le sérir à gravier de la hamada fait place vers le S., au sérir sableux qui borde l'erg de Mourzouk dont on aperçoit les dunes depuis les villages de l'ouadi.

Sa bordure présente dans cette région une échancrure vers le S., à hauteur de Cheraba où se retrouvent végétation halophile et terrains salés. R. CAPOT-REY, dans son levé d'itinéraire dans la partie septentrionale de l'erg de Mourzouk [27, fig. 6, p. 91], a consigné dans le prolongement de celle-ci, aux latitudes  $25^{\circ} 40'$  et  $25^{\circ} 35'$ , des « regs à cailloux de quartz et bois silicifiés » qui peuvent correspondre à la réapparition localisée dans les sables, des couches nubienues à la faveur de leur structure horizontale et d'une topographie favorable.

Vers les villages, on passe progressivement de la hamada gréseuse ou calcaire, suivant les cas, aux zones cultivées puis aux zones salées. Ces passages, peu nets, sont cachés par du sable. Partout on peut observer d'énormes buttes de tamaris.

Tous les pendages relevés dans les garas isolées dans la hamada de Mourzouk ou dans les rares affleurements voisins de l'ouadi, sont horizontaux. Les formations calcaires sont partout horizontales ou sub-horizontales, à tendance S. par endroits.

Il est possible, quoiqu'aucune observation précise de surface ne vienne confirmer cette supposition, que la digitation de Cheraba corresponde au prolongement vers le S. de la voussure relevée dans l'ouadi el Ajal à Tékertiba (p. 480).

On peut faire, à ce propos, un argument du fait que nous n'avons pas relevé d'affleurements de calcaires sur la hamada à l'O. de l'axe ainsi défini.

## HYDROLOGIE

### a) DESCRIPTION DES POINTS D'EAU

Dans toute cette région, en fait de points d'eau, on ne trouve que des puits.

Nous avons déjà précisé l'importance de la couche de sédiments peu consistants qu'on trouve dans cette région. Tous les puits qu'on peut rencontrer, se présentent ainsi comme ceux que nous avons déjà décrits dans la région d'Oubari, à la différence près que les vasques sont en moyenne plus profondes et plus larges. Plusieurs *dalous* montés sur des mâts sérieusement haubanés, exploitent souvent le même point d'eau (Tabl. 46).

TABLEAU 46

Relevé des points d'eau

| LOCALITES<br>NOM DU POINT D'EAU             | N <sup>os</sup> B.I.R.H. | Cote sol | TEMPERATURES |      | Débits | Cote<br>du plan<br>d'eau |
|---------------------------------------------|--------------------------|----------|--------------|------|--------|--------------------------|
|                                             |                          |          | Eau          | Air  |        |                          |
| DOUJAL : Bir H <sup>d</sup> B. Mohamed....  | 452                      | 471      | 22°7         | 22°5 |        | 462,5                    |
| SBETAT : Bir Djedid.....                    | 344                      | 478,60   |              |      |        | 474                      |
| — Bir M <sup>d</sup> Salah.....             | 346                      | 469,10   |              |      |        | 464,6                    |
| — Sondage.....                              | 510                      |          |              |      |        |                          |
| MAHABA.....                                 |                          |          |              |      |        |                          |
| TEGGRUTIN : Bir M <sup>d</sup> El Arbi....  | 458                      | 470      |              |      |        | 464                      |
| AGAR : Bir Ali.....                         | 345                      | 469,4    |              |      |        | 464,4                    |
| — Bir Fouga.....                            | 457                      | 471      | 22°          | 27°  |        | 462,8                    |
| TESAQUA : Bir Hadj Bou Baker..              | 455                      | 466      | 26°          | 31°5 |        | 460                      |
| OUM EL HAMAM : Bir M <sup>d</sup> b. Salah. | 348                      | 468,3    |              |      |        | 464,8                    |
| ES SERGAN : B. M <sup>d</sup> el Khir.....  | 347                      | 466,2    |              |      |        | 461,2                    |
| T'GUAGUELT : puits.....                     | 456                      | 469      | 20°3         | 18°  |        | 465,9                    |
| B. KERCHI : puits.....                      | 454                      | 486      | 22°          | 30°  |        | 479,7                    |
| B. ENDJAREN : puits.....                    | 453                      | 483      |              |      |        | 462,5                    |
| GHODDOUA : B. Mlabraf.....                  | 351<br>493               | 454,7    | 19°4         | 28°  |        | 416,4                    |



## Analysées de l'ouadi Heutba

| Haut.<br>du plan<br>d'eau/sol | Ca  | Mg  | Na    | Cl    | SO <sup>4</sup> | CO <sup>3</sup> | Résidu<br>sec | Degré<br>hydroti-<br>métrique | pH   |
|-------------------------------|-----|-----|-------|-------|-----------------|-----------------|---------------|-------------------------------|------|
| 8,5                           | 110 | 23  | 253   | 355   | 272             | 57              | 1,084         | 36°                           | 7,6  |
| 4,6                           | 116 | 23  | 311   | 462   | 319             | 69              | 1,340         | 38°                           | 7,4  |
| 4,5                           | 179 | 41  | 276   | 639   | 198             | 56              | 1,540         | 60°                           | 7,7  |
| 6                             | 333 | 159 | 1,518 | 2,023 | 1,437           | 165             | 5,598         | 145°                          | 7,45 |
| 5                             | 214 | 76  | 621   | 1,136 | 593             | 42              | 2,730         | 83°                           | 6,9  |
| 8,2                           | 36  | 12  | 103   | 115   | 115             | 45              | 420           | 146°                          | 7,45 |
| 6                             | 65  | 35  | 357   | 533   | 254             | 45              | 1,346         | 30°                           | 7,45 |
| 3,5                           | 165 | 38  | 495   | 479   | 737             | 108             | 2,050         | 56°                           | 7,4  |
| 5                             | 77  | 23  | 207   | 284   | 182             | 69              | 800           | 28°                           | 7,4  |
| 3,10                          | 59  | 7   | 98    | 71    | 72              | 121             | 460           | 24°                           | 7,8  |
| 6,3                           | 68  | 15  | 230   | 275   | 185             | 81              | 842           | 23°                           | 7,35 |
| 20,5                          | 102 | 14  | 108   | 119   | 35              | 199             | 594           | 30°                           | 7,6  |
| 8,3                           | 37  | 4   | 143   | 117   | 140             | 45              | 470           | 11°                           | 7,3  |
| 4,6                           | 45  | 10  | 230   | 213   | 187             | 81              | 660           | 15°                           | 7,15 |

Le niveau statique de la nappe se situe entre 470 et 480 m. (maximum à bir Kerchi : 479 m. 7) et semble se maintenir vers Endjaren (462,5) au N., alors qu'il s'abaisse vers Ghoddoua (446,4) au N.E. (Pl. VII). Dans les sebkhras qui se rencontrent autour de Oum el Hamam l'eau se trouve souvent à moins de 1 m. de la surface du sol. La surface piézométrique suit de façon atténuée, les variations de la surface topographique.

La nappe se présente au premier abord comme une nappe libre.

b) *Les analyses.* — L'étude chimique des eaux permet de constater d'importantes variations dans les valeurs du résidu sec : 430 mg/l à Agar, 5.598 à Teggrutin. Les eaux apparaissent comme étant, en général, assez chargées.

Les diagrammes font ressortir, une fois encore, l'homogénéité de salure des terrains de revêtements depuis bir Kerchi jusqu'à Ghoddoua.

Sur la figure 30 ont été consignées les analyses des eaux de Agar (n° 457, courbe 1), bir Kerchi (n° 454, courbe 2), es Sbetat (n° 344, courbe 3) et Doujal (n° 452, courbe 4).

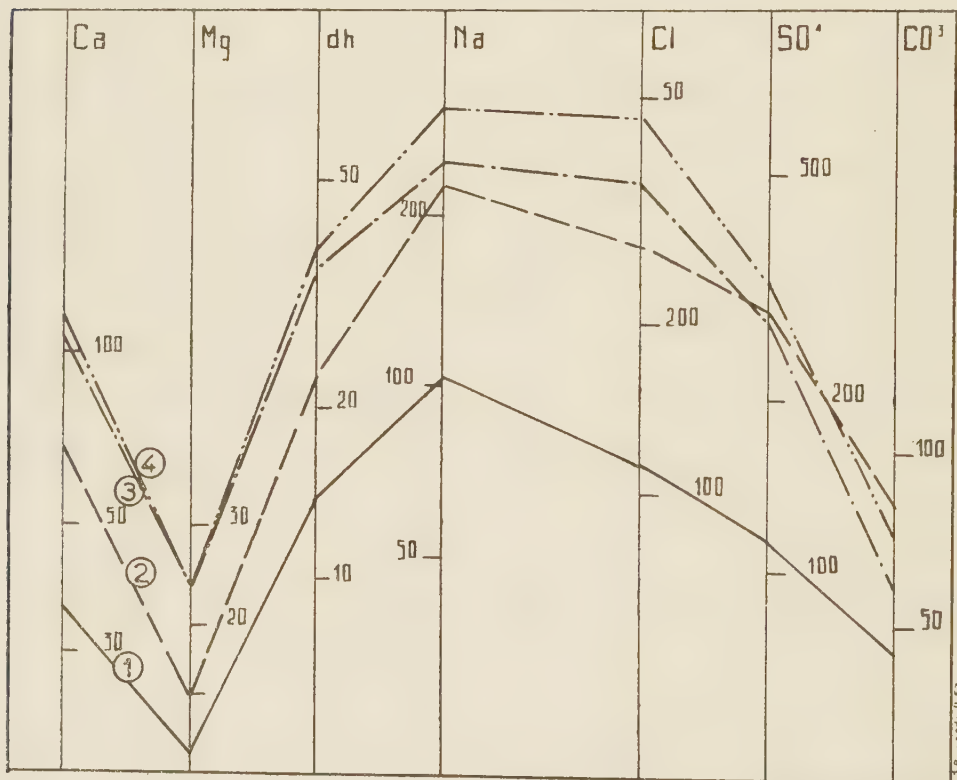


FIG. 30. — EAUX DE L'OUADI HEUTRA. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.  
1 : 457 (Agar). — 2 : 454 (Kerchi). — 3 : 344 (Sbetat). — 4 : 452 (Doujal).

On peut noter une concentration très nette d'eaux de mêmes caractères chimiques (Tab. 47 : proportions identiques pour concentrations en Equivalents croissantes); ces eaux demeurent toutefois soumises à des influences locales qui provoquent de légers écarts dans les teneurs : ainsi la courbe 2 trahit une acquisition relativement importante d'ions  $\text{CO}^3$ ,  $\text{SO}^4$  et Na. D'une façon générale, ces eaux dans lesquelles le ClNa semble dominer, sont aussi et nettement riches en ions  $\text{SO}^4$  et Ca. Elles sont par ailleurs pauvres en ions Mg. Quoique moins riches en ions Ca, elles sont comparables aux eaux de l'ouadi el Ajal, à la pointe d'ue au degré hydrotimétrique près (fig. 25 et 27).

TABLEAU 47

Tableau des r % dans les eaux du diagramme de la figure 30

| N° B.I.R.H.                   | AGAR<br>(457) | BIR KERCHI<br>(454) | ES SBETAT<br>(344) | DOUJAL<br>(452) |
|-------------------------------|---------------|---------------------|--------------------|-----------------|
| r % Ca.....                   | 12,5          | 11,2                | 12,1               | 13,5            |
| r % Mg.....                   | 6,9           | 4,1                 | 5,2                | 4,6             |
| r % Na.....                   | 31,2          | 32,1                | 30,3               | 33,1            |
| TOTAL cations.....            | 50,6          | 47,4                | 47,6               | 51,2            |
| r % Cl.....                   | 22,2          | 24,4                | 27,5               | 31,6            |
| r % $\text{SO}^4$ .....       | 16,6          | 15,7                | 15,4               | 15,8            |
| r % $\text{CO}^3$ .....       | 10,4          | 9                   | 6,6                | 4,6             |
| TOTAL anions.....             | 49,2          | 49,1                | 49,5               | 52              |
| Concentration en Equivalents. | 14,4          | 31,1                | 36,3               | 40,7            |

Sur la figure 31, ont été portées les courbes des eaux de es Sergan (n° 347, courbe 1), Tesaoua (n° 455, courbe 2) et Teggrutin (n° 458, courbe 4).

Là encore, on peut constater une concentration nette peu troublée par les dissolutions secondaires : la courbe 1 présente un enrichissement net en ions  $\text{CO}^3$  et Ca; la courbe 2 trahit l'acquisition d'ions Cl et Na et un appauvrissement en ions  $\text{CO}^3$ , et la courbe 3, quoique les ions Cl et Na dominent, marque également un enrichissement net en ions  $\text{SO}^4$  et en alcalino-terreux; la teneur en ions  $\text{CO}^3$  n'a pas suivie la concentration. Toutes ces courbes sont, au total, celles d'eaux chimiquement identiques dont le type de salure, très homogène, leur a été donné par les terrains encaissants post-nubiens.

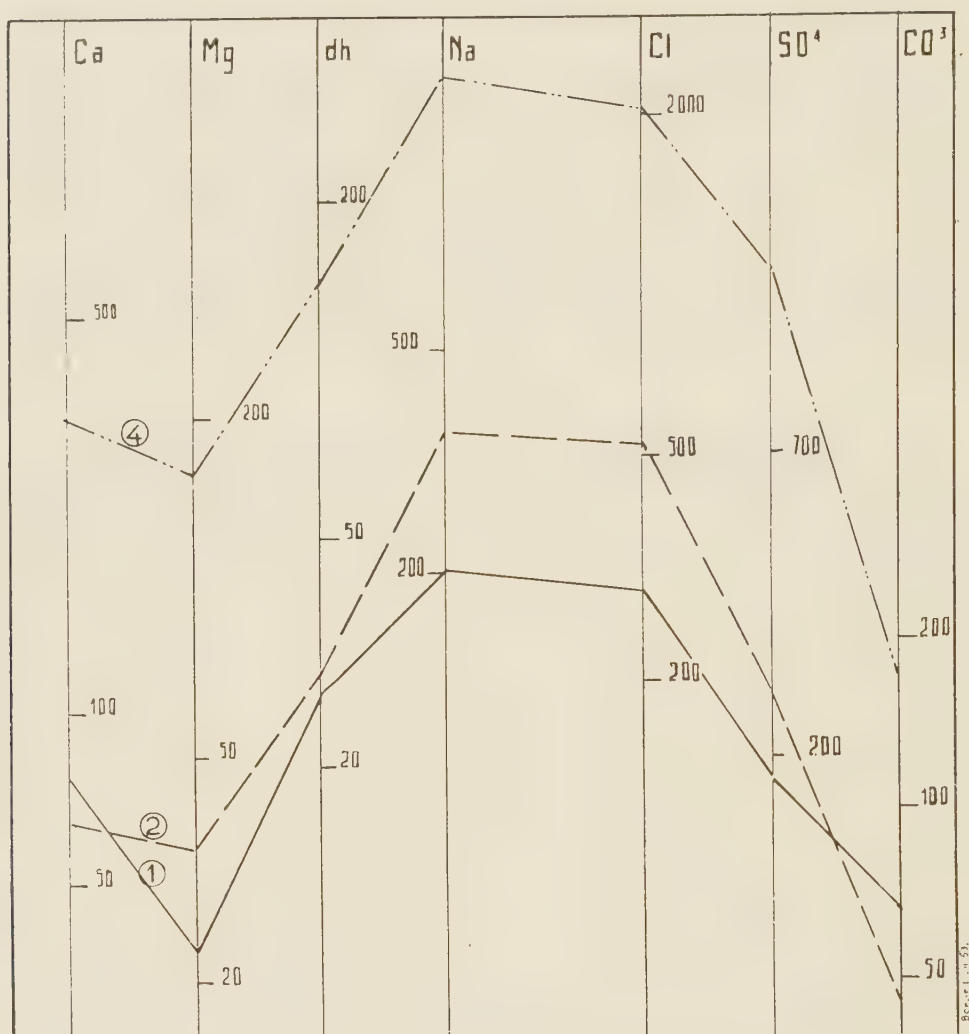


FIG. 31. — EAUX DE L'OUADI HEUTBA. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.  
1 : 347 (Sergan). — 2 : 455 (Tesaoua). — 4 : 458 (Teggrutin)

Les  $r\%$  (Tabl. 48) mettent en relief la constance de celles-ci et les particularités déjà signalées lors de l'étude des diagrammes; apports et pertes de tels ions sont ainsi précisés. L'analyse n° 345 (de Agar) s'avère défectueuse et ne peut être utilisée, les analyses des eaux 344 et 347 méritent de n'être utilisées qu'avec quelques réserves.

### 3. — HYDROGEOLOGIE

Cette étude donne à l'ensemble hydraulique considéré, un caractère franc de nappe superficielle, de teneur chimique homogène, dûe, très pro-



bablement, au contact avec les terrains du Paléogène supérieur. Celle-ci s'étend, de part et d'autre, de l'ouadi Heutba, vers la Hofra, vers Ghoddoua et vers l'O.

TABLEAU 48

Tableau des r % dans les eaux du diagramme de la figure 31

| N° B.I.R.H.                   | ES SERGAN<br>(347) | TÉSAOUA<br>(455) | AGAR<br>(345) | TEGGRUTIN<br>(458) |
|-------------------------------|--------------------|------------------|---------------|--------------------|
| r % Ca.....                   | 13,4               | 7,5              | 10,5          | 9                  |
| r % Mg.....                   | 6,5                | 6,6              | 5,9           | 6,9                |
| r % Na.....                   | 34                 | 36,4             | 25,9          | 34,1               |
| TOTAL cations.....            | 53,9               | 50,5             | 42,3          | 50                 |
| r % Cl.....                   | 28,1               | 34,1             | 31,1          | 30,9               |
| r % SO <sup>4</sup> .....     | 13                 | 11,8             | 11,4          | 16                 |
| r % CO <sup>3</sup> .....     | 7,5                | 3,4              | 1,4           | 2,8                |
| TOTAL anions.....             | 48,6               | 49,3             | 44,4          | 49,7               |
| Concentration en Equivalents. | 29,1               | 43,9             | 104,2         | 187,4              |

Dans cette direction, R. CAPOT-REY a mis en évidence le caractère temporaire des puits jalonnant la partie occidentale du cours de l'ouadi Berjouj : leur alimentation est nettement fonction de l'intensité des pluies de la région. Vers l'O., seul le puits d'Abatoul, profond de 45 m., creusé entièrement dans les sables alluviaux, était en eau. Les autres puits ou *guel-tas*, tous situés dans le lit de l'oued ou à ses abords, étaient à sec : ils se remplissent, pour quelques mois, tous les 5 ou 6 ans.

Notons d'après les observations de cet auteur [27, p. 98] que, au S. de Cheraba, la proximité de l'eau est trahie par la végétation qui jalonne l'échancrure dont nous avons déjà parlé, et par la présence d'un ancien village, aujourd'hui en ruines.

Il y aurait donc vers l'O., près du Messak, une nappe alluviale alimentée par les pluies, nappe qui se présente sous forme d'une tranche humide qui se résorbe en quelques mois et, vers l'ouadi Heutba, à partir vraisemblablement du puits d'Abatoul, une nappe importante sur laquelle les phénomènes de surface (précipitations, sécheresse) ne se font plus sentir et dont le niveau statique serait voisin de 470 m.

Vers le S., la topographie s'élève régulièrement. Aucun point d'eau n'a été signalé au sein de l'erg de Mourzouk qui se différencie de la sorte de l'erg d'Oubari. Les quelques puits signalés sont cantonnés aux bordures septentrionale et sud-orientale.

Il est vraisemblable que cette tranche humide qui alimente les quelques *gueltas* et puits du Messak est susceptible de s'écouler à des profondeurs qui la mettent à l'abri de l'évaporation; ceci jusqu'à la nappe elle-même dont la surface est inclinée vers l'E.N.E.

Le volant impliqué par la stabilité de la nappe de l'ouadi Heutba ne correspond pas au caractère local de celle-ci : nous ne pourrions donc poursuivre cette étude hydrogéologique qu'en la rattachant à celle des régions voisines, Hofra et Cherguya, qui présentent des caractères d'ailleurs comparables sinon identiques, comme nous allons pouvoir le constater.

#### 4. — COMPARAISON AVEC LES REGIONS VOISINES

La structure géologique est en parfaite continuité depuis l'ouadi el Ajal jusqu'à l'ouadi Heutba : les couches légèrement inclinées vers le S. dans l'ouadi el Ajal, sont horizontales dans la hamada de Mourzouk, jusque vers l'erg de Mourzouk.

La similitude des caractères chimiques (Tabl. 49) trahit l'unité du système hydraulique qui s'étend d'un ouadi à l'autre. De la sorte, dans l'ouadi Heutba, le siège des ressources hydrauliques qui semblait être constitué par les dépôts de marnes sableuses et détritiques post-nubiens, se trouve en réalité être les grès nubiens.

TABLEAU 49  
Tableau comparatif des r % dans les eaux de l'ouadi el Ajal  
et celles de l'ouadi Heutba

| REGIONS                          | OUADI EL AJAL |          | OUADI HEUTBA |
|----------------------------------|---------------|----------|--------------|
| LOCALITÉS                        | EL ABIODH     | ED DISSA | DOUJAL       |
| N° B.I.R.H.                      | (419)         | (384)    | (452)        |
| r % Ca.....                      | 17,5          | 14,2     | 13,5         |
| r % Mg.....                      | 7             | 5,8      | 4,6          |
| r % Na.....                      | 25,4          | 30,6     | 33,1         |
| TOTAL cations.....               | 50,3          | 50,6     | 51,2         |
| r % Cl.....                      | 25,4          | 30,6     | 31,6         |
| r % SO <sup>4</sup> .....        | 16,2          | 15,8     | 15,8         |
| r % CO <sup>3</sup> .....        | 7,8           | 2,8      | 4,6          |
| TOTAL anions.....                | 49,4          | 49,2     | 52           |
| Concentration en Equivalents.... | 22,8          | 94,7     | 40,7         |

## La Hofra et la Cherguya

La Hofra, que la Cherguya (Pl. VII) prolonge vers l'E., est immédiatement voisine de l'ouadi Heutba. Ces régions qui groupent dix-huit villages (12 + 6), sont alignées suivant une orientation O.-E. puis O.S.O.-E.N.E., et se situent à la limite méridionale du sérir el Gattousa et à la limite septentrionale de l'erg de Mourzouk et de la ramla Marzuchia qui prolonge celui-ci vers l'Est.

Elles se présentent comme une bande de terrain parsemée de villages, bande qui est limitée au N. et au S. suivant l'axe général déjà défini, par une large zone très humide de sebkhras qui s'étend depuis la région de Mourzouk et même de Oum el Hamam jusqu'à T'messa. A l'E. de Traghem, elle se resserre entre les terrains du sérir el Gattoussa et ceux de l'erg, constituant une sorte de seuil géographique qui sépare Hofra et Cherguya.

L'altitude moyenne se situe aux environs de 460 m. vers Mourzouk, Oum el Araneb, Souila et T'messa; vers Traghem elle s'abaisse à 450 m. vers la sebkhra, elle semble même n'être que de 440 m. Une pente assez nette existe de la sorte des villages vers la zone de sebkhras qui les borde au S. ainsi entre Fongoul (460) et Ben Dlif (442), entre Traghem (452) et Mafen (438), entre Oum el Araneb (458) et Hamera (441).

Le passage des terrains du sérir el Gattousa aux villages, se fait tantôt insensiblement, tantôt après quelques dénivellations de 10 à 15 m. maximum au total. Il ne s'agit plus de hautes falaises comme dans l'ouadi el Ajal ou même le Bouanis; vers Souila, une petite falaise se dessine cependant. Le passage de l'erg aux mêmes villages est également insensible malgré les quelques siouf qui s'égrènent çà et là.

Nous précisons d'ores et déjà que nous n'attacherons qu'une attention relative aux altitudes de T'messa, Souila et de deux *aioune* de Traghem (n<sup>os</sup> 470 et 471) dont les valeurs n'ont pas été corrigées.

### 1. — SITUATION GEOLOGIQUE

Le Nubien affleure dans le sérir el Gattousa, dans la partie orientale de la Hofra et sur toute la bordure septentrionale de la Cherguya, jusqu'à T'messa.

Au N. de Mourzouk, sa présence se manifeste dans quelques buttes arasées et dans de simples affleurements souvent recouverts de graviers; il s'agit de grès blancs, rosés ou noirs, le plus souvent quartziteux dans la partie superficielle.

TABLEAU 50

Relevé des points d

| LOCALITES<br>Nom du point d'eau | N°<br>B.I.R.H | COTE<br>SOL | TEMPERATURE |       | DEBIT<br>l/sec. | COTE<br>EAU |
|---------------------------------|---------------|-------------|-------------|-------|-----------------|-------------|
|                                 |               |             | EAU         | AIR   |                 |             |
| <b>Mourzouk :</b>               |               |             |             |       |                 |             |
| B. Chebcheb .....               | 320           | 469,6       | 21°         |       |                 | 46          |
| P. Caserne Carabinieri .....    | 349           | 467,10      |             |       |                 | 46          |
| B. Rhatari .....                | 350           | 468         |             |       |                 | 46          |
| Sebkhra .....                   | 492           | 464         | 69°         | 25°   |                 | 46          |
| Sondage .....                   | 511           |             | En cours    |       |                 |             |
| <b>Dlem :</b>                   |               |             |             |       |                 |             |
| B. Tariata .....                | 343           |             |             |       |                 |             |
| <b>Sisaou :</b>                 |               |             |             |       |                 |             |
| B. Melouechkah .....            | 475           | 459         |             |       |                 | 45          |
| B. Zent Souita .....            | 476           | 461         | 23°         | 23° 5 |                 | 45          |
| <b>M'Ratem :</b>                |               |             |             |       |                 |             |
| B. Bardo .....                  | 341           |             |             |       |                 |             |
| <b>El-Gelb :</b>                |               |             |             |       |                 |             |
| B. Amar .....                   | 340           | 452,8       |             |       |                 | 41          |
| <b>Fongoul :</b>                |               |             |             |       |                 |             |
| B. Amar .....                   | 342           |             |             |       |                 |             |
| B. Mohamed ben Djelef .....     | 331           | 462,4       |             |       |                 | 45          |
| El Aïn .....                    | 337           | 461,0       |             |       |                 | 46          |
| <b>Ben Dlif :</b>               |               |             |             |       |                 |             |
| B. Rhoussin .....               | 339           | 446         |             |       |                 | 44          |
| <b>Traghem :</b>                |               |             |             |       |                 |             |
| Sondage 1 .....                 | 323           | 449,5       | 26° 5       | 18°   | 11              | 45          |
| Sondage 2 .....                 | 322           | 451,1       | 26° 5       | 19°   | 12,3            | 45          |
| Sondage 3 .....                 | 491 = 321     | 451,1       | 26° 5       | 16°   | 13<br>12,5      | 45          |
| B. Kararab .....                | 324           | 451,2       |             |       |                 | 45          |
| Aïn-es-Souffi .....             | 325           | 450,1       | 21° 6       | 19°   | 1,6             | 45          |
| Puits .....                     | 326           | 460         |             |       |                 | 45          |
| B. Souk .....                   | 327           | 454,8       |             |       |                 | 44          |
| B. Straurambi .....             | 328           | 460         |             |       |                 | 45          |
| Aïn Ambar .....                 | 470           | 429         | 25°         | 30° 8 |                 | 42          |
| Aouina Ambar .....              | 471           | 420         |             |       |                 | 41          |
| Sebkhra .....                   | 490           | 449         | 25°         | 26°   |                 | 44          |
| <b>Mafen :</b>                  |               |             |             |       |                 |             |
| B. Djedida .....                | 338           | 437,4       |             |       |                 | 43          |
| <b>Es-Sitouna :</b>             |               |             |             |       |                 |             |
| B. Alleoua .....                | 332           | 457,6       |             |       |                 | 45          |
| Sebkhra .....                   | 333           | 448,8       |             |       |                 | 44          |
| B. Djedid .....                 | 500           | 462,4       |             |       |                 | 45          |
| <b>Magoua :</b>                 |               |             |             |       |                 |             |
| B. el-Hakrich .....             | 334           | 454,1       |             |       |                 | 45          |
| B. Chirhat .....                | 335           | 455,2       |             |       |                 | 45          |
| B. Djeïda .....                 | 336           | 459,2       |             |       |                 | 45          |



## sées de la Hofra

| uteur<br>lan<br>u/sol | Ca   | Mg   | Na    | Cl    | SO <sup>4</sup> | CO <sup>3</sup> | RESIDU<br>SEC | Degré<br>hydroti-<br>métrique | pH  |
|-----------------------|------|------|-------|-------|-----------------|-----------------|---------------|-------------------------------|-----|
| 6,6                   | 142  | 33   | 357   | 373   | 583             | 84              | 1582          | 48°                           | 7,6 |
| 3                     | 54   | 24   | 281   | 248   | 244             | 104             | 910           | 23°                           | 7,8 |
| 5                     | 295  | 102  | 943   | 1136  | 1269            | 140             | 4000          | 113°                          | 7,4 |
| 0,5                   | 870  | 3001 | 14260 | 17750 | 12401           | 270             | 99250         | 1413°                         | 8   |
| 7,8                   | 267  | 86   | 644   | 1065  | 622             | 129             | 3030          | 100°                          | 7,4 |
| 4,7                   | 255  | 111  | 874   | 1189  | 878             | 117             | 3512          | 107°                          | 7,7 |
| 7                     | 143  | 63   | 483   | 621   | 459             | 126             | 1970          | 60°                           | 7,8 |
| 5,5                   | 425  | 101  | 863   | 1740  | 508             | 74              | 4180          | 145°                          | 7,2 |
| 6,8                   | 193  | 89   | 598   | 852   | 723             | 189             | 2720          | 83°                           | 7,5 |
| 5,8                   | 555  | 123  | 1334  | 2542  | 901             | 90              | 5540          | 185°                          | 7,3 |
| 3,9                   | 227  | 35   | 483   | 753   | 459             | 56              | 2180          | 70°                           | 7,4 |
| 0,2                   | 80   | 39   | 152   | 241   | 147             | 96              | 776           | 35°                           | 6,9 |
| 4                     | 95   | 36   | 322   | 373   | 297             | 150             | 1352          | 38°                           | 7,4 |
| + 1,70                | 32   | 4    | 115   | 172   | 68              | 38              | 430           | 9°                            | 7,3 |
|                       | 39   | 6    | 170   | 211   | 84              | 63              | 610           | 12°                           | 7,4 |
| + 1,70                | 25   | 4    | 127   | 178   | 66              | 39              | 430           | 8°                            | 7,3 |
|                       | 27   | 4    | 158   | 204   | 74              | 46              | 486           | 8°                            | 7,2 |
| + 1,70                | 25   | 3    | 107   | 131   | 54              | 41              | 370           | 7°                            | 7,2 |
|                       | 28   | 9    | 110   | 149   | 56              | 40              | 356           | 10°                           | 7,1 |
|                       | 28   | 5    | 181   | 232   | 94              | 49              | 554           | 9°                            | 7   |
| 1,2                   | 114  | 23   | 288   | 397   | 319             | 39              | 1289          | 37°                           | 7,4 |
| 0,1                   | 54   | 26   | 552   | 781   | 284             | 74              | 1810          | 24°                           | 6,9 |
| 5,1                   | 57   | 9    | 242   | 231   | 220             | 81              | 700           | 18°                           | 7,2 |
| 5                     | 541  | 55   | 1335  | 1420  | 1207            | 83              | 4380          | 106°                          | 7,4 |
| 8,75                  | 303  | 48   | 656   | 866   | 774             | 93              | 2870          | 93°                           | 7,5 |
| 0,3                   | 50   | 21   | 149   | 195   | 97              | 81              | 660           | 20°                           | 7,8 |
| 0,2                   | 93   | 52   | 598   | 852   | 340             | 75              | 2020          | 43°                           | 8   |
|                       | 1718 | 872  | 28060 | 36565 | 15161           | 375             | 91280         | 770°                          | 7,7 |
| 5                     | 60   | 20   | 156   | 140   | 161             | 108             | 660           | 23°                           | 7,4 |
| 5                     | 227  | 93   | 961   | 1420  | 837             | 69              | 3890          | 94°                           | 7,3 |
| 0                     | 76   | 54   | 1323  | 1924  | 585             | 123             | 4400          | 40°                           | 7,5 |
| 9,8                   |      |      |       |       |                 |                 |               |                               |     |
| 1,7                   | 50   | 8    | 288   | 266   | 89              | 171             | 920           | 15°                           | 7,3 |
| 2,2                   | 461  | 156  | 1316  | 1704  | 1829            | 83              | 5500          | 175°                          | 7,5 |
| 9,2                   | 274  | 96   | 667   | 994   | 948             | 78              | 3190          | 105°                          | 6,9 |

TABLEAU 51

Relevé des points

| LOCALITES<br>NOM DU POINT D'EAU | N° <sup>s</sup><br>B. I. R. H. | Cote sol | TEMPERATURES |      | Débits | Co<br>du p<br>d'e |
|---------------------------------|--------------------------------|----------|--------------|------|--------|-------------------|
|                                 |                                |          | Eau          | Air  |        |                   |
| TOUIOUI :                       |                                |          |              |      |        |                   |
| Aouinette Djema.....            | 474                            | 433      | 21°          | 25°5 |        | 4                 |
| OUM EL ARANEB :                 |                                |          |              |      |        |                   |
| B. Sida.....                    | 329                            | 464,8    |              |      |        | 4                 |
| B. Senia Amar.....              | 330                            | 464,7    |              |      |        | 4                 |
| HAMERA :                        |                                |          |              |      |        |                   |
| B. Nouar.....                   | 472                            | 441      | 22°          | 18°2 |        | 4                 |
| B. Bou Baker.....               | 473                            | 435      | 23°          | 20°  |        | 4                 |
| EL BDER :                       |                                |          |              |      |        |                   |
| B. Zent Tranem.....             | 468                            | 434      | 23°1         | 32°2 |        | 4                 |
| B. Djedida.....                 | 469                            | 424      | 24°6         | 34°7 |        | 4                 |
| MESSEGOUINE :                   |                                |          |              |      |        |                   |
| B. Zent Gorzi.....              | 466                            | 434      | 20°6         | 24°  |        | 4                 |
| B. Tenor.....                   | 467                            | 429      | 23°5         | 28°5 |        | 4                 |
| SOUILA :                        |                                |          |              |      |        |                   |
| B. Md Abd es Salem.....         | 462                            | 421      |              |      |        | 4                 |
| B. Cherif Ismaïl.....           | 463                            |          |              |      |        |                   |
| B. Brahim Haddad.....           | 464                            | 430      |              |      |        | 4                 |
| B. Hamed B. Ali.....            | 465                            | 431      |              |      |        | 4                 |
| T'MESSA :                       |                                |          |              |      |        |                   |
| LAC NEH DJILEH :                |                                |          |              |      |        |                   |
| Partie Ouest.....               | 459<br>530                     |          |              |      |        |                   |
| Partie Est.....                 | 460<br>533                     | 433      |              |      |        | 4                 |
| Bir Djerma.....                 | 531                            | 435      |              |      |        | 4                 |
| MAJEDOUL :                      |                                |          |              |      |        |                   |
| B. Omrane.....                  | 485                            |          | 25°          | 27°  |        |                   |
| B. Abd es Salem.....            | 486                            |          | 24°          | 25°  |        |                   |
| B. H'Med.....                   | 487                            |          | 24°          | 24°5 |        |                   |

## sées de la Cherguya

| teur<br>plan<br>u/sol | Ca  | Mg  | Na   | Cl   | SO <sup>4</sup> | CO <sup>3</sup> | Résidu<br>sec | Degré<br>hydroti-<br>métrique | pH   |
|-----------------------|-----|-----|------|------|-----------------|-----------------|---------------|-------------------------------|------|
| 0,4                   |     |     |      |      |                 |                 | 100           |                               |      |
| 6,8                   | 196 | 25  | 345  | 504  | 490             | 56              | 1560          | 58°                           | 6,9  |
| 8,3                   | 404 | 89  | 794  | 890  | 1278            | 48              | 4010          | 135°                          | 6,9  |
| 5,2                   | 42  | 15  | 161  | 177  | 121             | 61              | 540           | 16°                           | 7,6  |
| 4,5                   | 48  | 20  | 207  | 195  | 224             | 75              | 872           | 20°                           | 7,45 |
| 5                     | 59  | 15  | 161  | 266  | 91              | 36              | 674           | 20°                           | 7,35 |
| 4,5                   | 119 | 24  | 345  | 603  | 218             | 42              | 1360          | 39°                           | 7,35 |
| 9                     | 178 | 31  | 425  | 568  | 425             | 78              | 1852          | 55°                           | 7,65 |
| 5,3                   | 190 | 37  | 598  | 675  | 657             | 78              | 2330          | 61°                           | 7,9  |
| 10,7                  | 358 | 63  | 874  | 1491 | 634             | 81              | 3986          | 113°                          | 8    |
| 11                    | 240 | 52  | 414  | 745  | 451             | 79              | 2284          | 80°                           | 7,8  |
| 11                    | 583 | 182 | 1288 | 2272 | 1027            | 72              | 5230          | 215°                          | 7,7  |
| 6,5                   | 258 | 66  | 414  | 692  | 524             | 66              | 2280          | 90°                           | 7,9  |
| Echantillon cassé     |     |     |      |      |                 |                 |               |                               |      |
|                       | 50  | 65  | 612  | 649  | 322             | 264             | 2086          | 38°                           | 7,8  |
|                       | 179 | 142 | 6900 | 8165 | 4417            | 568             | 21192         | 146°                          | 8,4  |
|                       | 43  | 364 | 8036 | 8880 | 5555            | 681             | 25142         | 156°                          | 8,4  |
| 4                     | 187 | 161 | 2202 | 2597 | 1803            | 162             | 7710          | 110°                          | 7,9  |
| 8,8                   | 312 | 58  | 460  | 692  | 742             | 75              | 2688          | 100°                          | 7,1  |
| 3,5                   | 386 | 78  | 644  | 1030 | 897             | 60              | 3300          | 119°                          | 6,8  |
| 5,5                   | 214 | 40  | 368  | 550  | 482             | 78              | 1880          | 68°                           | 6,9  |

Vers Traghem, le Nubien apparaît nettement dans un éperon qui, précédé de buttes témoins, s'avance vers le S. près de l'erg. Il constitue un plateau qui domine de 15 à 20 m. Oum el Araneb vers l'E., la dépression où se trouvent Touila, Magoua, es-Sitouna et les premières dunes de l'erg vers le S., et Traghem vers l'O.

A partir de Oum el Araneb, on peut observer une coupe dans la petite falaise qui se poursuit jusqu'à Souila. Au delà de cette localité, celle-ci devient de plus en plus nette et est constituée par deux séries superposées, d'environ 20 m. chacune, qui disparaissent à 8 kms avant d'arriver à T'messa. Ces séries se présentent comme deux *cuestas* dont l'abrupt fait face au S. La première domine l'erg et la dépression où se trouve quelque végétation. La deuxième se trouve à 5 ou 6 kms vers le N. Toutes deux sont couronnées par des couches silicifiées et constituées en majorité par des grès à dragées. On peut y discerner quelques pendages inobservables partout ailleurs.

A hauteur de T'messa, le Nubien disparaît : ses affleurements sont rejetés plus au N. Il fait place à un recouvrement de graviers de couleur claire, puis à du sable et à ses dunes : ce sont ces formations qui circonscrivent le village et en rendent l'approche délicate.

Dans le sérir el Gattousa, on ne trouve pas de série visible du Nubien ; celles qu'on rencontre, sont toujours peu importantes et toujours cachées par des éboulis et par le revêtement graveleux et de *feich-feich* qui caractérise cette région.

Les formations de calcaires et marnes gréso-sableuses du Paléogène supérieur affleurent de Mourzouk à T'messa, sur une bonne partie du sérir el Gattousa et sur la bordure de la ramla Marzuchia. Elles ont déjà été décrites en détail (p. 76). Leur épaisseur, rappelons-le, n'est pas connue avec exactitude.

## 2. — HYDROLOGIE

### a) DESCRIPTION DES POINTS D'EAUX

1. — *Les puits*. — Ceux-ci se rencontrent, d'une façon générale, de Mourzouk (Pl. XXIII, fig. 4) à T'messa (Tabl. 50 et 51). Ils sont exploités par deux, trois et même quatre *dalous*. Leur profondeur est variable et s'échelonne entre 1 et 12 m. dans la région de Souila.

Ils sont toujours foncés dans les terrains post-nubiens qui constituent le sous-sol de l'alignement ouadi Heutba-Hofra-Cherguya. C'est à dire que leur tenue reste en général mauvaise. Dans certaines régions, Souila ou Mesegouine, par exemple, le caractère marneux étant plus net, les terrains s'éboulent moins et les puits à peu près cylindriques, se présentent alors



sous leurs formes classiques : leur base est malgré tout pourvue d'une large « chambre » siège, de temps à autre, de petits éboulements.

Les possibilités de la majorité des puits semblent grandes comme en témoigne le nombre souvent élevé d'exploitants qui puisent dans le même point d'eau (Pl. XXIII, fig. 6). Signalons que, près de Fongoul existe une grande mare qui prend le nom d'*aïn* (n° 337).

Il fut un temps où, comme dans l'ouadi el Ajal, la population fut plus nombreuse et le pays plus riche. En particulier à Souila où subsistent les vestiges d'anciennes foggaras qui étendent leur réseau entre ces villages et une petite falaise du Nubien située à quelque kilomètres au N. On trouve aux environs de ce village des « squelettes » de jardins, maintenant abandonnés de toute végétation.

2. — *Les aïoune*. — Les *aïoune* et les nappes d'eau libre que nous n'avions plus rencontrés depuis le Chati et l'erg d'Oubari, font de nouveau leur apparition, tant dans la Hofra qu'à l'extrémité orientale de la Cherguya, vers T'messa.

Des *aïoune* existent au S.O. de Traghém (Pl. XXIV, fig. 1 et 2), sur la bordure de la sebkha qui, depuis les environs de Mourzouk s'étire indéfiniment. Ils introduisent le même caractère d'hétérogénéité que nous avons déjà signalé à propos de ceux du Chati : D'une part des *aïoune* dont les plans d'eau sont manifestement différents, peuvent voisiner de très près : d'autre part, *aïn* et puits peuvent se trouver séparés de quelques mètres : le niveau d'eau de puits, qui est à l'abri de tout ruissellement de surface, est cependant très sensiblement inférieur à celui de l'*aïn*.

Une végétation luxuriante existe dans toute la région occupée par les *aïoune* qui sont au nombre de sept ou huit. Leurs débits sont très faibles et souvent impossibles à mesurer. Le plus élevé atteint près de 2 l/sec. On rencontre d'autres *aïoune* de nature moins franche près de Fongoul où il s'agit d'une mare sans écoulement visible, et à T'messa où ils circonscrivent la portion occidentale du lac Neh Djileh qu'ils alimentent en partie. Ils sont tous très voisins et se touchent presque.

Des eaux libres se rencontrent à Mourzouk, Traghém, entre Souila et T'messa, et à T'messa; toutes disparaissent en été. En ce dernier village, le lac Neh Djileh, au voisinage duquel affleurent des marnes sableuses du Paléogène supérieur, est constitué par deux portions inégales; son alimentation se fait dans sa partie occidentale par une série de petits *aïoune* situés sur son pourtour, notamment vers le S.; les eaux se concentrent et déposent leurs sels dans sa partie orientale qui ne semble pas avoir d'alimentation superficielle visible. Parmi ceux-ci suivant les années, il arrive que du natron apparaisse.

3. — *Les sondages.* — Les renseignements recueillis (Tab. 52) concernant les sondages sont inexistantes pour les uns (Traghem, n<sup>os</sup> 321, 322 et Souila, 323) et peu concluants pour les autres (Touila n<sup>o</sup> 549; Oum el Araneb, n<sup>o</sup> 548).

TABLEAU 52

Tableau des sondages exécutés dans la Hofra-Cherguya

| LOCALITES          | Cotes | Profondeurs atteintes | Débits 1/sec. | TEMPÉRA-TURES |      | Cotes orifice | Cotes toit | Niveaux statiques |
|--------------------|-------|-----------------------|---------------|---------------|------|---------------|------------|-------------------|
|                    |       |                       |               | Air           | Eau  |               |            |                   |
| Mourzouk.....      |       |                       |               |               |      |               |            |                   |
| Traghem 1.....     | 451,2 | 32,50                 | 11            | 18°           | 26°5 | 452,9         | 478,7      |                   |
| Traghem 2.....     | 452,8 | 32,50                 | 12,3          | 19°           | 26°5 | 454,5         | 420,3      |                   |
| Traghem 3.....     | 452,8 | 34,30                 | 13            | 16°           | 26°3 | 454,5         | 418,5      |                   |
| Souila.....        | 431   | 22                    |               |               |      |               |            |                   |
| Oum el Araneb..... | 455   | 150                   |               |               |      |               |            | 10                |
| Touila.....        | 450   | 150                   |               |               |      |               |            | 5,85              |

#### b) NIVEAUX STATIQUES — NAPPES

Pour établir les distinctions entre plusieurs nappes éventuelles, nous n'avons qu'un seul jalon, les variations du niveau statique rencontrées durant le forage d'Oum el Araneb : niveau à 6 m. au dessus de 46 m. de profondeur; niveau à 10 m., au dessous de cette cote sans pouvoir raccrocher l'une ou l'autre mesure à celles des points d'eau environnants, ni aux niveaux des sondages de Traghem. A Touila, pareille différenciation n'a pas été observée. A Traghem, les sondages n'ont pas été suffisamment profonds pour explorer la série en profondeur; cependant, en cette localité, la situation est renversée : le niveau d'eau des sondages est supérieur à celui des points d'eau environnants; le niveau a augmenté durant le forage; nous ignorons s'il se maintiendrait à cette cote si le forage pénétrait dans des couches inférieures. En sorte que nous nous trouvons en présence de quatre valeurs de niveau statiques (fig. 37). Si les coupures stratigraphiques avancées (p. 75) sont exactes, ces variations de niveaux proviennent des couches paléogènes, alors que, dans le Nubien, les niveaux se stabiliseraient.

Il faut noter que vers Touila, situé en avant du promontoire nubien dont nous avons parlé et qui entre Traghem et Oum el Araneb s'avance vers le

S., le recouvrement paléogène supérieur peut être moins important qu'ailleurs. En sorte que les variations des caractéristiques dynamiques peuvent être atténuées à sa hauteur.

Nous n'avons pas suffisamment d'éléments d'observation pour fournir actuellement une explication à ces phénomènes. Il est regrettable que des analyses chimiques des eaux de ces deux sondages n'aient pas été réalisées. Il est d'ailleurs probable que nous aurions été amenés à conclure que les eaux nubienne et du Paléogène supérieur étaient de nature très comparable, si ce n'est identique.

### c) LES ANALYSES

Les analyses chimiques décèlent pour les puits, les *aïoune* et les eaux libres des résidus secs généralement plus élevés que ce que nous avons eu coutume d'observer jusqu'à présent, même semble-t-il, que dans l'ouadi Heutba. Il y a une augmentation sensible de ces valeurs d'O. en E. : celles de Souila sont ainsi particulièrement élevées (2.280 à 5.250 mg/l). Les eaux des sondages ont, par contre un résidu sec de 336, 370 et 430 mg/l.

Les teneurs en ions  $\text{CO}^3$  varient cependant toujours dans des limites assez étroites (en moyenne entre 40 et 100 mg/l), même lorsqu'il y a eu augmentation nette du résidu sec.

1) *La Hofra*. — Sur la figure 32 ont été consignées les analyses des points d'eau s'échelonnant tout au long de la Hofra. On y trouve ainsi les courbes des eaux de Traghém (courbe 1, n° 328), el Gleb (courbe 2, n° 340), Dlem (courbe 3, n° 343), M'raten (courbe 4, n° 341), Mourzouk (courbe 5, n° 350) et Fongoul (courbe 6, n° 342).

Quoique le système hydraulique étudié soit manifestement le même, on peut constater des différences sensibles de salure d'un point à l'autre, différences qui modifient l'allure des courbes sans cesser de rendre perceptible leur parenté. Ces variations locales seraient beaucoup plus nettes si on pouvait superposer, sans nuire à la clarté des diagrammes, un grand nombre de courbes de points d'eau voisins. Elles apparaissent déjà ici. Ainsi l'eau de Traghém (courbe 1) semble relativement chargée en Cl Na et  $\text{SO}^4$ ; celle de el Gleb (courbe 2) semble riche en ions  $\text{CO}^3$  et Mg; celle de Fongoul paraît, au contraire, particulièrement pauvre en ions  $\text{CO}^3$ .

Sur la figure 33, ont été portées les analyses des eaux des trois sondages de Traghém : S<sup>3</sup> (courbes 1 et 4, n°s 321 et 491), S<sup>2</sup> (courbe 2, n° 322), S<sup>1</sup> (courbe 3, n° 323), de deux points du même village (courbes 5 et 8, n°s 470 et 320), et de Fongoul (courbe 7, n° 331).

Illustrant ce que nous avons trouvé sur le diagramme précédent, nous avons sur celui-ci une progression particulièrement nette d'un extrême à

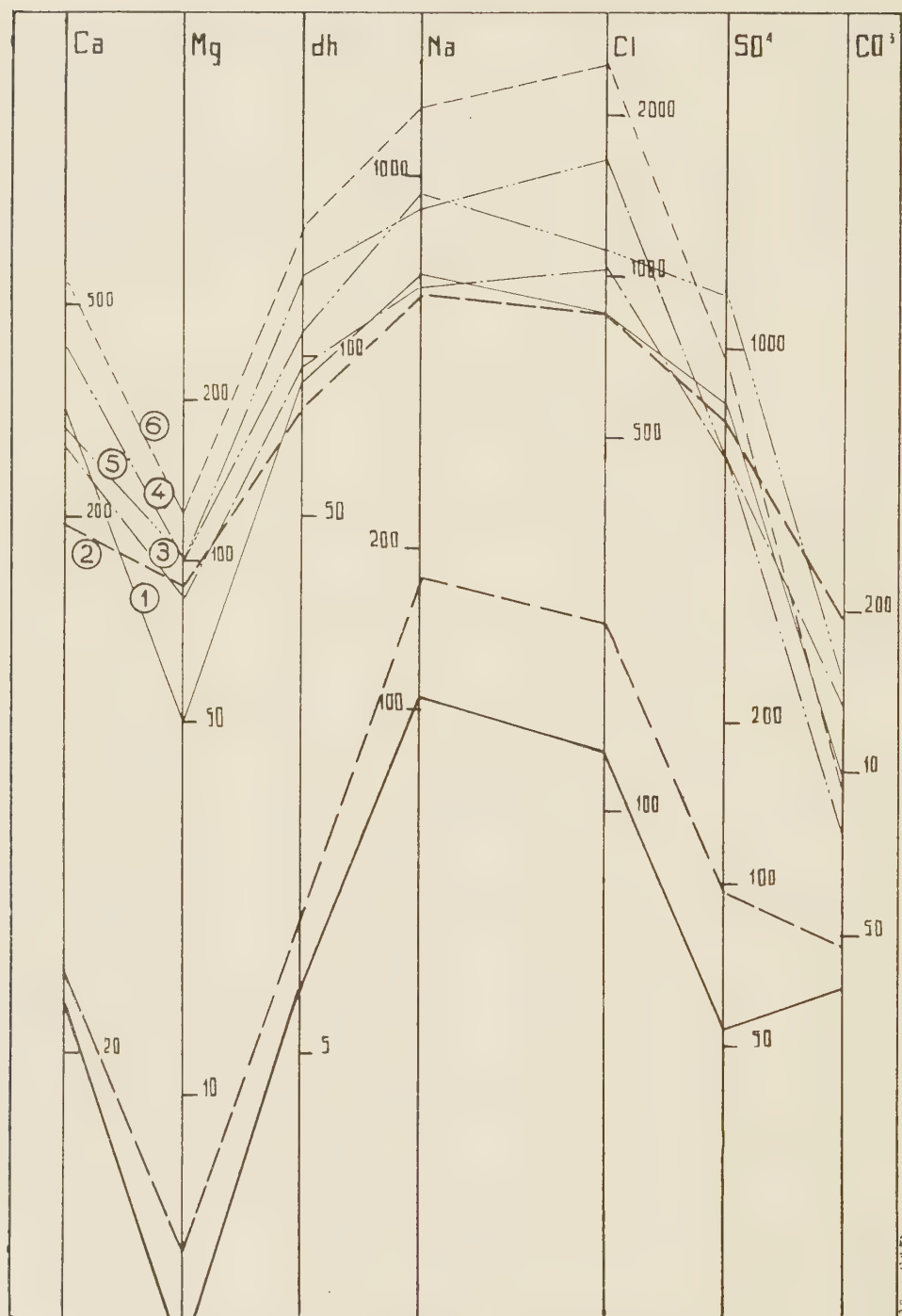


FIG. 32. — EAUX DE LA HOFRA. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

1 : 328 (Traghem). — 2 : 340 (El Gleb). — 3 : 343 (Dlem). — 4 : 341 (M'raten). — 5 : 350 (Mourzouk). — 6 : 342 (Fongoul). — 7 : 321 (Traghem S3, 1948). 8 : 321 (Traghem S3, 1949).

l'autre, des eaux des sondages de Traghem, dont les graphiques sont groupés et superposables, aux eaux tirées des puits; celles-ci n'ont plus de caractères nets; c'est le résultat de la concentration des eaux précédentes et de dissolutions supplémentaires suivant la salure des terrains traversés.

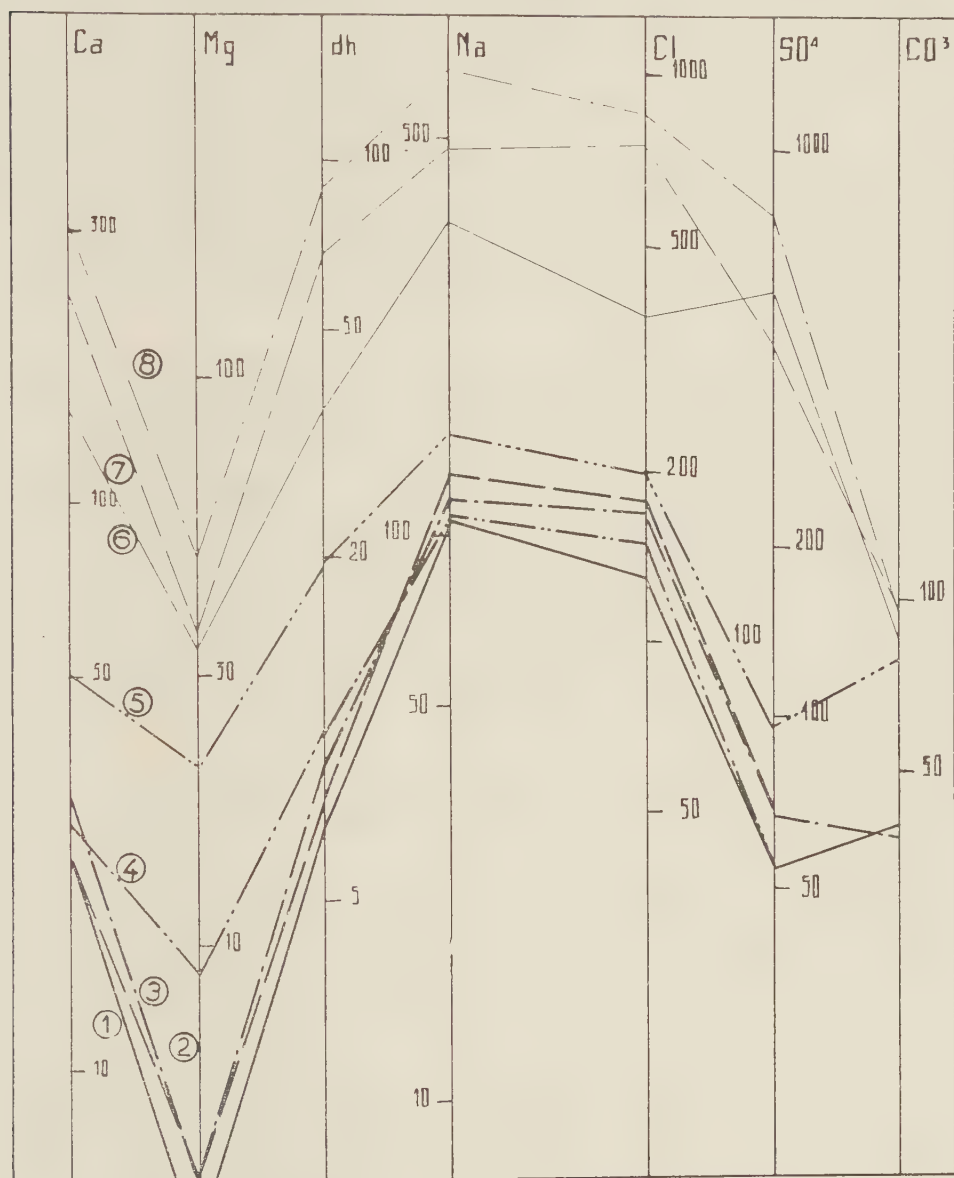


FIG. 33. — EAUX DE LA HOFRA. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.

1 : 321 (Traghem S3). — 2 : 322 (Traghem S2). — 3 : 323 (Traghem S1). — 4 : 491 (Traghem S3). — 5 : 470 (Traghem). — 6 : 320 (Mourzouk). — 7 : 331 (Fongoul). — 8 : 328 (Traghem).



Ainsi à Traghem même, les eaux des points n<sup>os</sup> 328 et 470 sont identiques à celles des sondages, mais concentrées et enrichies l'une en ions  $\text{SO}^4$  et alcalino-terreux et l'autre en ions  $\text{CO}^3$ ,  $\text{SO}^4$  et Mg, Ca.

On peut constater, en se rapportant à la figure 32, qu'au sein même d'un sondage, à un an d'intervalle, les différences sont sensibles; il s'agit du sondage 3 de Traghem (n<sup>o</sup> 321) dont le résidu sec a varié presque du simple au double; il y a un mouvement de concentration avec enrichissement en ions  $\text{SO}^4$  et Mg. Cette tendance doit être générale puisque les deux autres sondages sont sujets à un phénomène identique. Il est possible que celle-ci provienne de la remise en mouvement des sels déposés dans la sebkhra voisine, par l'afflux d'eaux. Ces eaux peuvent en effet les rediffuser par réinfiltration au lieu de les auto-concentrer comme le fait l'évaporation. Il y a là un risque auquel il faudrait remédier en dosant les irrigations de façon très attentive.

La figure 34 contient les tracés d'eaux de Magoua (courbe 1, n<sup>o</sup> 334), Mâfen (courbe 2, n<sup>o</sup> 338), Ben Dlif (courbe 3, n<sup>o</sup> 339), es-Sitouna (courbe 4, n<sup>o</sup> 333), Magoua (courbe 5, n<sup>o</sup> 336) et es-Sitouna (courbe 6, n<sup>o</sup> 332).

Il contribue à mettre en relief l'air de famille de toutes ces eaux caractérisées par un accroissement de la teneur en ions  $\text{SO}^4$  et en alcalino-terreux durant la concentration. Il met en même temps en relief les caractères qui les individualisent tel l'enrichissement de l'eau n<sup>o</sup> 334 en ions  $\text{CO}^3$ , Na et Ca et sa pauvreté en ions Mg et  $\text{SO}^4$ , la faiblesse de teneur en ions Cl de l'eau n<sup>o</sup> 338, la grande richesse de l'eau n<sup>o</sup> 333 en ions Cl et Na, alors que les teneurs en ions  $\text{SO}^4$ , Mg et surtout Ca, n'ont pas suivi la concentration.

Des eaux de points voisins de Magoua (n<sup>os</sup> 334 et 336, courbes 1 et 5) (n<sup>os</sup> 333 et 332, courbes 4 et 6) et de es-Sitouna nous paraissent cependant assez nettement différentes.

L'étude des  $r\%$  (Tabl. 53) nous permet de remarquer que parfois les cations sont surévalués aux dépens des anions dans des proportions souvent telles qu'elles gênent toutes comparaisons. Seule l'eau de Magoua a une constitution ionique comparable à celle de l'eau du sondage de Traghem.

Les différentes eaux de Traghem, quoique venant de points voisins, ne présentent qu'une analogie fort lointaine, les limites de pourcentage des différents ions sont souvent très larges ( $r\%$   $\text{SO}^4$  : 8,4 pour le n<sup>o</sup> 322 et 18,1 pour le n<sup>o</sup> 328). A côté de ces variations de salure dans le sens vertical, puisqu'elles sont relevées à Traghem depuis une nappe captive à une trentaine de mètres, jusqu'à l'eau de surface, on peut relever, malgré des varia-

lions flagrantes, une certaine homogénéité dans le sens latéral. Ainsi relève-t-on des  $r\%$  du même ordre de grandeur dans les eaux n° 331, 341 et 338 de Fongoul, de M'raten et de Mafen.

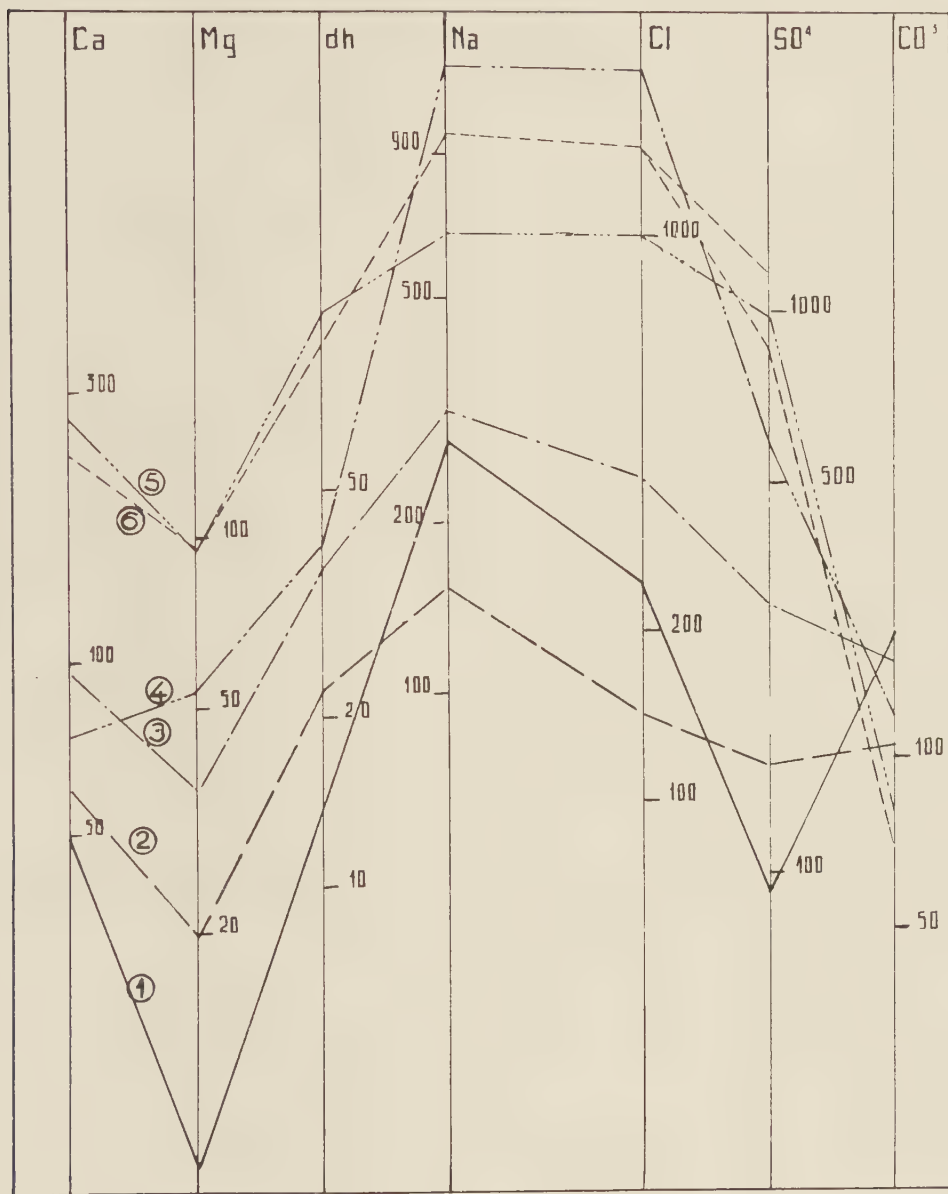


FIG. 34. — EAUX DE LA HOFRA. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.

1 : 334 (Magoua). — 2 : 338 (Mafen). — 3 : 339 (Ben Dlif). — 4 : 393 (Es Sitouna). —  
5 : 336 (Magoua). — 6 : 332 (Es Sitouna).

2. — *La Cherguya*. — La Cherguya est plus vaste et plus dispersée que la Hofra. Nous étudierons quelques unes de ses eaux dans les figures 35 et 36.

TABLEAU 53

Tableau des r % dans les eaux de la Hofra

| n° B.I.R.H.                       | MAGHOUA<br>(n° 334) | TRAGHEM<br>(n° 322) | TRAGHEM<br>(n° 470) | TRAGHEM<br>(n° 328) | L'ONGOUL<br>(n° 331) | M'RATEN<br>(n° 341) | MAFOU<br>(n° 338) |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| r % Ca.....                       | 8,5                 | 9,6                 | 10,8                | 17,1                | 16,9                 | 16                  | 13,2              |
| r % Mg.....                       | 2                   | 2,6                 | 7,3                 | 4,4                 | 4,2                  | 6,3                 | 7,5               |
| r % Na.....                       | 42,9                | 36,9                | 36,9                | 31                  | 29,4                 | 29,8                | 30,9              |
| TOTAL cations.....                | 53,4                | 49,1                | 55                  | 52,5                | 50,5                 | 52,1                | 51,6              |
| r % Cl.....                       | 23,3                | 32,3                | 24,3                | 26,7                | 31,6                 | 36                  | 17,6              |
| r % SO <sup>4</sup> .....         | 6                   | 6,4                 | 8,6                 | 18,1                | 13,4                 | 9                   | 14,5              |
| r % CO <sup>3</sup> .....         | 16                  | 10                  | 11                  | 3,5                 | 4,6                  | 2,4                 | 15,8              |
| TOTAL anions.....                 | 45,3                | 50,7                | 45,6                | 48,3                | 49,6                 | 47,4                | 47,9              |
| Concentration en Equivalents..... | 29,1                | 13                  | 23                  | 93,5                | 70,8                 | 130,5               | 22,6              |

Sur la figure 35 ont été portés les tracés des analyses d'eaux de el Bder (courbes 1 et 2, n°s 468 et 469), Oum el Araneb (courbe 3, n° 329), Messegouine courbe 4, n° 466) et Souila (courbes 5 et 6, n°s 462 et 464).

On peut de nouveau constater une progression nette dans le sens de la concentration et quelques dissolutions partielles qui déforment certaines courbes. Ainsi, par exemple, l'eau de la courbe 3 s'avère riche en ions Ca et SO<sup>4</sup> alors que la teneur en ions Mg a diminué.

Afin de pouvoir effectuer une comparaison, nous avons reporté sur ce diagramme le tracé de l'eau de sondage n° 3 de Traghém (n° 324). Celui-ci s'intègre parfaitement dans le mouvement général de la concentration.

On peut remarquer durant ce mouvement, que la quantité d'ions CO<sup>3</sup> reste à peu près constante et indifférente à toute concentration; leur teneur diminue donc régulièrement.

Sur la figure 36 ont été reportés les tracés des analyses d'eaux de Hamera (courbe 1, n° 472), Messegouine (courbe 2, n° 467), Souila (courbes 3 et 4, n°s 463 et 465) et Oum el Araneb (courbe 5, n° 330).



FIG. 35. — EAUX DE LA CUERGUYA. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.  
 1 : 468 (El Bder). — 2 : 469 (El Bder). — 3 : 329 (Oum el Araneb). — 4 : 466 Messougouine). — 5 : 462 (Souila). — 6 : 464 (Souila). — 7 : 321 (Traghem S3).

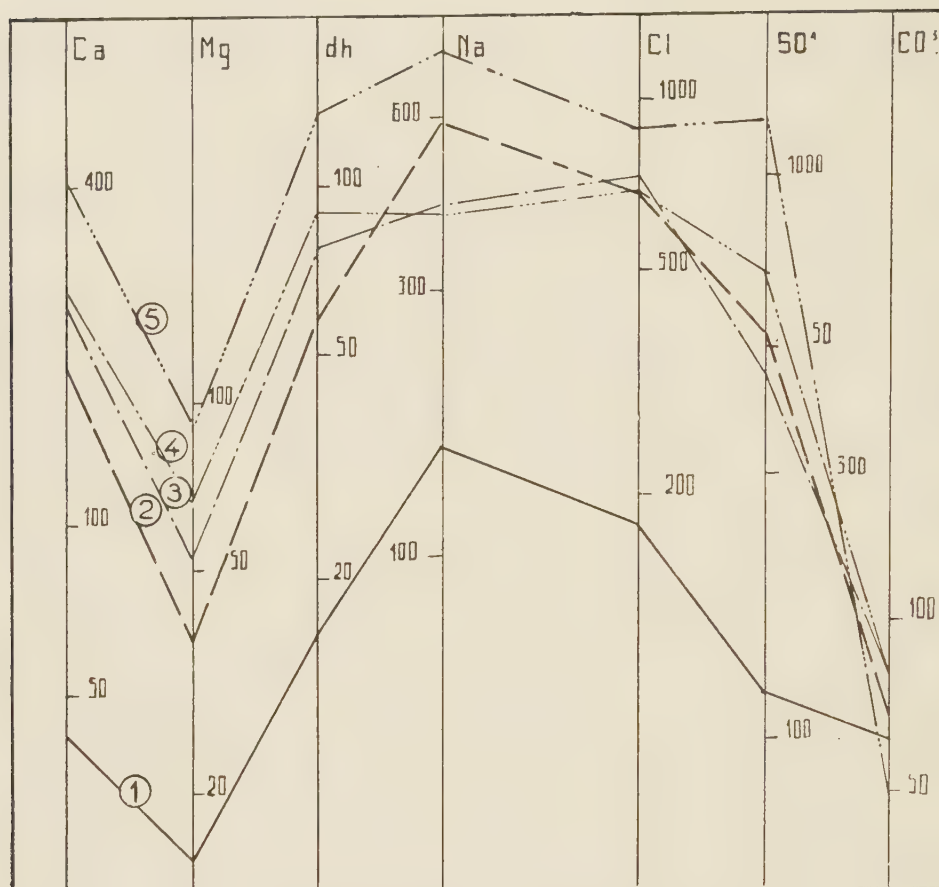


FIG. 36. — EAUX DE LA CHERGUYA. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.  
 1 : 472 (Hamera). — 2 : 467 (Messegouine). — 3 : 463 (Souila). — 4 : 465 (Souila). —  
 5 : 330 (Oum el Araneb)

Le mouvement général de concentration peut encore être décelé mais il est beaucoup plus déformé par les dissolutions ou des dilutions secondaires. Alors que les parties cations des courbes sont encore homogènes à quelques exceptions près, les parties anions témoignent de grandes variations dans les teneurs en ions  $\text{SO}_4$ . La courbe 5 en particulier, a un tracé original d'eau séléniteuse. L'étude des  $r\%$  de quelques unes de ces eaux permet de remarquer que celles-ci varient relativement peu (tableau 53). On peut cependant souligner que dans le mouvement de concentration particulièrement visible dans le diagramme 20, les teneurs en ions  $\text{SO}_4$  et Ca, Mg augmentent plus rapidement que les teneurs en ions  $\text{ClNa}$ ; ceci constitue un fait déjà pressenti lors de l'étude de l'ouadi el Ajal ou de l'erg d'Oubari.



TABLEAU 54  
Tableau des r % dans les eaux de la Cherguya

| N° B.I.R.H.                       | n° 321 | n° 468 | n° 469 | n° 462 | n° 464 | n° 472 | n° 330 |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| r % Ca.....                       | 9,5    | 13,9   | 12,9   | 14,7   | 15,8   | 10,6   | 18,1   |
| r % Mg.....                       | 3,1    | 5,5    | 4,3    | 4,2    | 7,9    | 6      | 6,4    |
| r % Na.....                       | 36,9   | 32,5   | 32,2   | 32     | 29,5   | 35,3   | 30,1   |
| TOTAL cations.....                | 49,5   | 51,9   | 49,4   | 50,9   | 53,2   | 51,9   | 54,6   |
| r % Cl.....                       | 30,6   | 33,4   | 36,5   | 34,5   | 33,8   | 25,2   | 21,5   |
| r % SO <sup>4</sup> .....         | 9,5    | 8,8    | 9,9    | 11,5   | 11,6   | 12,6   | 22,3   |
| r % CO <sup>3</sup> .....         | 11,1   | 5,5    | 3      | 2,2    | 1,2    | 10,1   | 1,3    |
| TOTAL anions.....                 | 51,2   | 47,7   | 49,4   | 48,2   | 46,6   | 47,9   | 45,1   |
| Concentration en Equivalents..... | 12,6   | 21,5   | 46     | 120,9  | 189,5  | 19,8   | 116    |

### 3. — HYDROGEOLOGIE

Les caractères du système hydraulique installé sur cette région sont au total assez mal définis. On peut cependant mettre en évidence l'existence de plusieurs nappes situées a priori dans les terrains post-nubiens et caractérisées (fig. 37), à Traghém, par l'existence à 32 m. d'une nappe

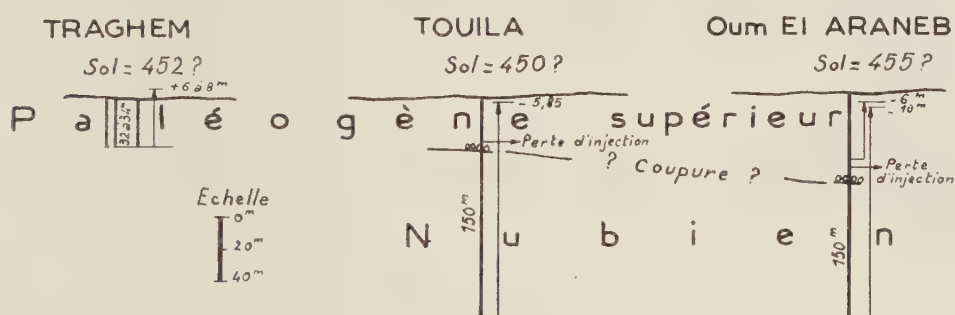


FIG. 37. — FORAGES DE LA HOFRA. Les coupures incertaines et la discontinuité des données topographiques et dynamiques empêchent de relier ces forages entre eux.

captive et à Oum el Araneb par l'existence d'une nappe dont le niveau statique est plus élevé de 4 m. que celui de la nappe située dans les couches inférieures à la profondeur de 46 m.

C'est donc une situation inverse de la précédente.

A Touila, la nappe est caractérisée par un niveau statique constant sur les 150 m. de forage.

Dans aucun de ces deux récents forages, des couches semblables à celles qui affleurent à Traghém n'ont été rencontrées. Du fait de la discontinuité reconnue entre les forages de Touila et d'Oum el Araneb, il doit donc s'agir, dans un cas comme dans l'autre, de lentilles locales qui provoquent des régimes dynamiques et de circulation hétérogènes et imprévisibles.

A priori, il semble qu'à Traghém, il s'agisse d'une nappe captive retenue par un toit imperméable paléogène supérieur. Par contre, à Oum el Araneb, ou bien les couches supérieures, moins poreuses que les niveaux inférieurs provoquent une remontée importante par capillarité (4 m.), ou encore il y a au-dessus de la profondeur de 46 m. des couches très poreuses dans lesquelles s'est effectué un écoulement latéral : les pertes de charge ont été moins sensibles au-dessus de 46 m. qu'au dessous.

On a essayé d'obtenir quelques mesures caractéristiques sur des carottes provenant des deux forages réalisés en 1951. Mais les échantillons se sont très difficilement prêtés aux opérations nécessaires car il se désagrégeaient très facilement. Les résultats sont donc approchés et maxima, car, pour certains, la compacité d'origine n'a pu être maintenue. Ils sont extrêmement élevés (Tabl. 55), supérieurs à ceux qui ont été obtenus sur des sables de dune de l'erg de Mourzouk voisin, et, en moyenne, égaux ou doubles, en ce qui concerne la porosité, de ceux obtenus sur les carottes du Chati (p. 150). Pour déceler un niveau imperméable qui fasse écran entre deux formations aquifères de niveaux statiques différents, il aurait fallu effectuer un carottage continu des couches : il semble que ce niveau-écran est constitué par des grès argileux bruns durs épais de 4 m. 30 de puissance.

Il reste qu'il serait très intéressant de rechercher les prolongements du toit de la nappe de Traghém de part et d'autre de cette localité, notamment vers Mourzouk. Cependant, compte tenu de l'imprécision des cuttings qui ne nous permet pas de conclure, de façon définitive, que les forages précédents sont sortis du Paléogène supérieur, il serait bon d'en envisager un plus profond (300 m.) méticuleusement carotté.

La capacité hydrique de ces terrains paléogènes, semble énorme et, bien entendu, en liaison très étroite avec les dépôts nubiens ; les réserves hydrauliques ne sont pas en rapport avec la faible pluviométrie généralement relevée. En sorte que, les données structurales aidant, on en arrive à penser que l'eau vient de plus loin et que, pour cette région comme pour les précédentes, le problème en dépasse les limites : il ne s'agit pas de ressources locales et superficielles.

TABLEAU 55

Résultats de quelques mesures  
effectuées sur des carottes des sondages de Touila et d'Oum el Araneb

| PROVENANCES                                | PERMEABILITE <sup>1</sup>                  |           | POROSITÉ <sup>2</sup><br>absolue<br>m = % | RÉTENTION <sup>2</sup><br>m' = % |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------|----------------------------------|
|                                            | k = m/sec.                                 | en m/jour |                                           |                                  |
| <i>Forage de Touila</i>                    |                                            |           |                                           |                                  |
| Carottes entre 21 et 33 m.                 | 2.10 <sup>-4</sup>                         | 15,84     | 40                                        | 23,5                             |
| 33 et 35 m.                                | 1,2.10 <sup>-4</sup>                       | 11,08     | 37,5                                      | 25                               |
| 35 et 70 m.                                | 2,1.10 <sup>-4</sup>                       | 18,72     | 37,5                                      | 26                               |
| 70 et 110 m.                               | 2.10 <sup>-4</sup>                         | 17,28     | 40                                        | 22,5                             |
| <i>Forage d'Oum El Araneb</i>              |                                            |           |                                           |                                  |
| Carottes entre 19 et 20 m.                 | 3,3.10 <sup>-4</sup>                       | 27,93     | 40                                        | 27                               |
| 34 et 35 m.                                | 1,5.10 <sup>-4</sup>                       | 13,25     | 40                                        | 31,5                             |
| 93 et 110,5                                | 2,5.10 <sup>-4</sup>                       | 22,44     | 37,5                                      | 23,5                             |
| 110,5 et 120 m.                            | désagregés entièrement au contact de l'eau |           |                                           |                                  |
| 130 et 140 m.                              | désagregés entièrement au contact de l'eau |           |                                           |                                  |
| Moyennes.....                              |                                            | 17,61     | 38,7                                      | 25,5                             |
| Moyenne « porosité utile »<br>m'' = %..... |                                            |           | 13,2                                      |                                  |
| Sables dune erg de Mourzouk.               | 3,6 x 10 <sup>-1</sup>                     | 5,18      | 37,5                                      | 23,5                             |
| Porosité utile m' = %.....                 |                                            |           | 14                                        |                                  |

1. — Les mesures ont été effectuées sous de très faibles Δh qui ont permis de rester dans l'intervalle linéaire de la fonction Q (h).

2. — % = pourcentage d'eau pour un volume apparent de sol sec.

La surface piézométrique oscille entre 460 vers Mourzouk, 467 vers Oum el Araneb et 432 vers T'messa. Aucun puits n'existe dans le sérir el Gattousa dont l'altitude moyenne, dans sa partie centrale, oscille entre 460 et 490 m.; ceci malgré les distances qui séparent d'importants centres, tels que Oum el Araneb ou Souila, de Fort-Leclerc. Vers l'E., à l'aridité du sérir el Gattousa, fait place l'aridité du Haroudj. Alors que la surface piézométrique s'abaisse de Mourzouk à T'messa, la topographie se maintient constamment au même niveau dans le même temps. L'eau se met hors de portée des hommes.

Ces résultats seront comparés avec ceux des régions voisines après l'étude de la région de Majedoul qui suit.

### La région de Majedoul

La région de Majedoul est située au S. de la *ramla* Marzuchia et est rattachée administrativement à la Cherguya. Les données concernant cette

« rive » de la *ramla*, sont peu abondantes; mais leur observation peut apporter des précisions intéressantes aux premières conclusions que nous venons de formuler. La rive méridionale de la *ramla* est occupée par une étroite bande de terrains resserrée entre la *ramla* Marzuchia et son sérir de sables au N., et la falaise marquant la limite nord-occidentale du djebel ben Guenemma qui se trouve, en fait, en retrait vers le S.E. Trois villages se rencontrent au pied de celle-ci, Terbou, Oum es Zouer, Majedoul et, plus à l'E., Oum el Adam, alors qu'une immense sebkhra s'étire d'O. en E., coupée par de petites palmeraies isolées.

#### 1. — SITUATION GEOLOGIQUE

Le Nubien apparaît dans la coupe de la falaise haute d'environ 15 à 20 m., précédée de butte-témoin, de direction parallèle à celle de la *ramla* mais qui s'incurve ensuite vers le S., puis vers le S.O. pour longer jusqu'à Gatroun la bordure occidentale du sérir qui limite l'erg de Mourzouk à l'E.

La série est faite d'alternance de bancs de grès clairs, blancs et bruns, de granulométrie très variable, et de bancs de marnes psammitiques, blanches et rouges à micas blancs et jaunes; le sommet en est constamment occupé par des quartzites.

On trouve des petits affleurements de calcaires gris-beige du Paléogène supérieur, assez disséminés et noyés dans les sables de la *ramla*. Ils se trouvent en bordure de la falaise, dans la *ramla* même, et au voisinage de la piste qui mène à Gatroun, manifestement à des niveaux légèrement différents.

Ces affleurements doivent être rattachés aux formations des calcaires d'Oum el Araneb et Souila dont ils sont l'homologue à une altitude identique. Alors que celles-ci ont été décapées par l'érosion et apparaissent sur une certaine épaisseur, elles ne se manifestent vers Majedoul que sous forme d'affleurements. De très grandes étendues de *feich-feich* rendent très délicat l'abord des villages de Oum es-Zouer et Terbou et de la ligne de sebkhras.

Le Nubien vers Majedoul est subhorizontal (Pl. XIV, coupe 4); on observe de très nombreux pendages de 2° à 3° vers le S.E. Dans cette direction, vers l'intérieur du djebel ben Guenemma, les pendages deviennent nuls, puis faibles (2° à 3°) vers le N.O. La série nubienne ressort alors, constituant le djebel ben Guenemma dont la bordure orientale est constituée par des affleurements de Viséen (p. 54).

Les formations paléogènes supérieures semblent horizontales, mais entièrement noyées dans les dépôts de sables de la *ramla* qui est plus récente.



La rive méridionale de la *ramla* semble être, comme à Khneir, à une cote supérieure à celle de la rive septentrionale dont les formations dans les deux cas, s'avèrent plus érodées et décapées.

## 2. — HYDROLOGIE

La plupart des puits de Majedoul sont dans le Nubien. Il n'existe pas d'autre type de points d'eau (Tabl. 51). D'après les dires des indigènes, les venues d'eau sont tempérées; les puits les plus profonds sont intarissables avec les moyens de puisage dont ils disposent. Ceux-ci sont exploités par un seul *dalou*, ils donnent donc théoriquement un débit de 1 l/sec. pour à peine 1 m. d'abaissement. Ceci trahit un débit spécifique supérieur à 1. Les eaux prélevées proviennent de puits situés en amont du village, forcés dans le Nubien, dans des grès bruns clairs, de grains irréguliers, à stratification entrecroisée.

Les résidus secs des eaux sont relativement élevés : 1,8 à 3,3 g/l.

Sur la figure 38 sont consignées les courbes de trois analyses d'eaux (courbes 1, 2 et 3, n° 477, 485 et 486) de Majedoul auxquelles nous avons ajoutées, à titre de comparaison, les courbes d'analyses d'eau de el Bder (courbe 4, n° 468) et de Messegouine (courbe 5, n° 466), villages qui sont situés au N. de Majedoul de l'autre côté de la *ramla*, et celle du sondage n° 3 de Traghem (n° 321).

On remarque immédiatement que la proportion de Cl Na en solution, est beaucoup plus faible que celle qui est en solution dans les eaux de la Cherguya : le sommet des courbes est plat. Corollaire normal, la teneur en ions  $\text{SO}_4$  et Ca est plus forte (Tabl. 56).

Les eaux n° 487 et 466 sont pratiquement identiques. Les eaux de Majedoul se rattachent ainsi au type de celles de la Cherguya et sont, comme elles, plutôt séléniteuses.

Le système hydraulique de Majedoul apparaît donc comme appartenant au même système que celui qui s'étend sur l'ouadi Heutba, la Hofra et la Cherguya.

## 3. — HYDROGÉOLOGIE

Le système qui se suit depuis Tesaoua, a donc bien son siège dans le Nubien. Il doit se manifester à Majedoul avec son niveau statique vrai puisqu'il se trouve dans le Nubien à environ 460 m. : l'absence de mesures barométriques dans cette région est regrettable; elle nous prive d'un jalon précieux.



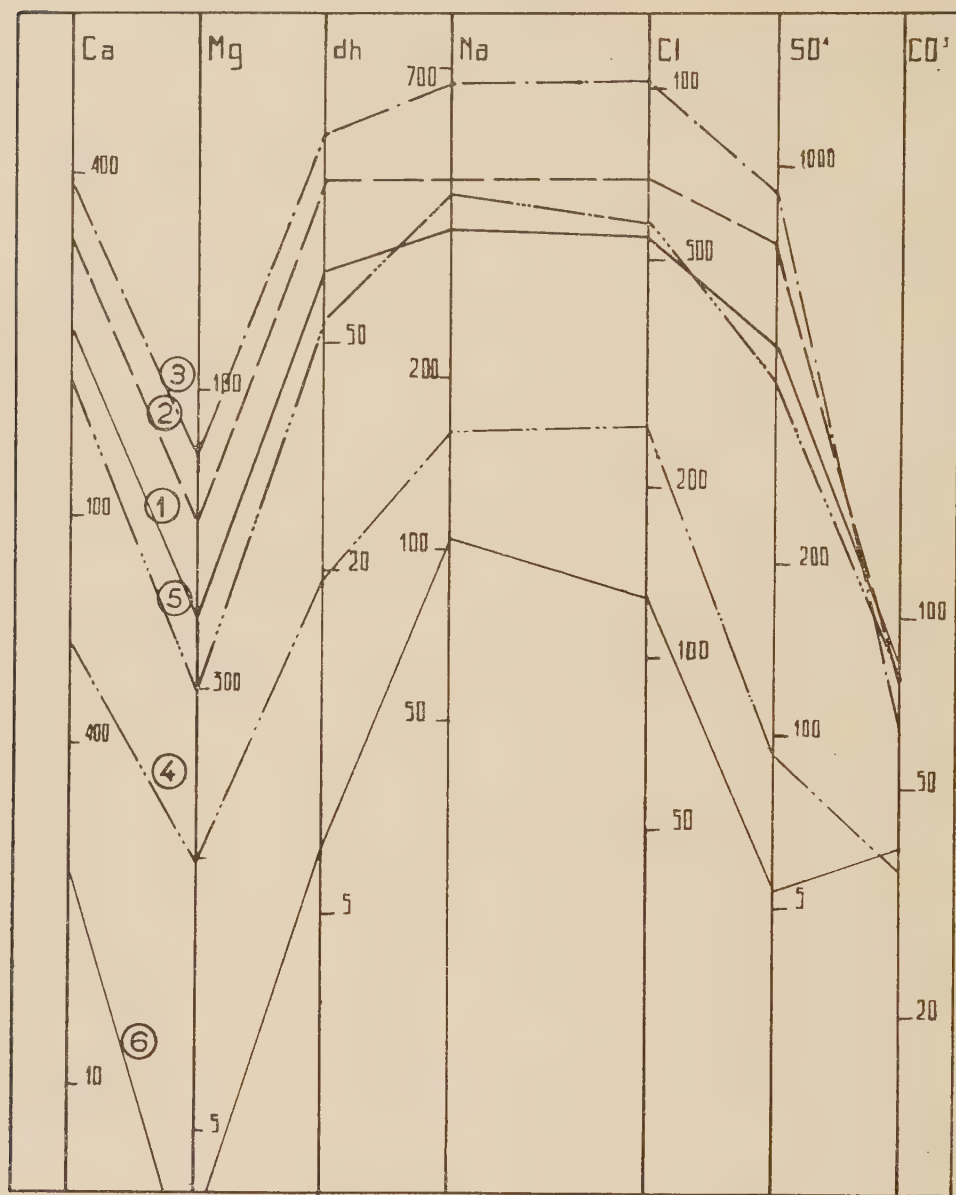


FIG. 38. — EAUX DE MAJEDOUL, DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.  
 1 : 487 (Majedoul). — 2 : 486 (Majedoul). — 3 : 486 (Majedoul). — 4 : 468 (El Bder). —  
 5 : 466 (Messegouine). — 6 : 321 (Traghem S3).

Aucun puits foncé dans le Nubien de la hamada de Mourzouk et proche de l'ouadi Heutba ou de la Hofra, ne permet de situer la cote piézométrique vraie de la nappe dans cette région; tout au plus peut-on rappeler,

sans en faire un argument, qu'à bir Kerchi (n° 464) situé à l'O. de l'ouadi Heutba et foncé à proximité d'affleurements de Nubien dans des terrains plus récents, le niveau statique est à 480 m.

TABLEAU 56

Tableau comparatif des r % dans les eaux de la région de Majedoul

| n° B.I.R.H.                       | MESSEGOINE<br>(466) | MAJEDOUL |       |       | TRAGHEM<br>(328) | TRAGHEM<br>(321) |
|-----------------------------------|---------------------|----------|-------|-------|------------------|------------------|
|                                   |                     | (487)    | (485) | (486) |                  |                  |
| r % Ca.....                       | 15,2                | 18,5     | 20,3  | 18,6  | 17,1             | 9,5              |
| r % Mg.....                       | 4,2                 | 4,5      | 6,3   | 6,9   | 4,4              | 3,1              |
| r % Na.....                       | 31,9                | 28,5     | 25,4  | 27,9  | 31               | 36,9             |
| TOTAL cations.....                | 51,3                | 51,5     | 52    | 52,4  | 52,5             | 49,5             |
| r % Cl.....                       | 28,7                | 26,9     | 25,4  | 27,9  | 26,7             | 30,6             |
| r % SO <sup>4</sup> .....         | 15,2                | 17,8     | 19    | 17,6  | 18,1             | 9,5              |
| r % CO <sup>3</sup> .....         | 5,8                 | 4,5      | 3,2   | 1,8   | 3,5              | 11,1             |
| TOTAL anions....                  | 49,7                | 48,2     | 47,6  | 47,3  | 50,5             | 51,2             |
| Concentration en Equivalents..... | 59,1                | 59,4     | 78,6  | 107,4 | 93,5             | 12,6             |

Ce système hydraulique, en équilibre dans le Nubien, imprègne les terrains paléogènes supérieurs à travers lesquels il se manifeste en modifiant à peine son caractère chimique et en trouvant un colmatage variable qui implique parfois des pertes de charge souvent importantes : ainsi à Traghem, celles-ci sont telles qu'à 34 m. de profondeur le niveau statique se trouve alors à un niveau supérieur à la surface du sol.

#### 4. — COMPARAISONS AVEC LES AUTRES REGIONS

Sur le plan structural, rien ne s'opposait à l'extension d'un même système hydraulique entre ouadi Heutba et ouadi el Ajal (p. 224); rien ne s'oppose non plus à l'extension d'un système hydraulique siégeant dans le Nubien depuis la Hofra-Cherguya au Bouanis.

Sur le plan chimique, les caractères des eaux présentent des analogies extraordinaires malgré les distances qui séparent souvent les points d'eau pris pour exemple (Tabl. 57).

TABLEAU 57

Tableau comparatif des r % dans des eaux de régions différentes

| REGIONS                           | O. EL AJAL | O. HEUTBA | BOUANIS    |             | HOFRA   |        | CHER-GUYA |
|-----------------------------------|------------|-----------|------------|-------------|---------|--------|-----------|
| LOCALITÉS                         | ED DISSA   | DOUJAL    | F. LECLERC | OUM EL ABID | TRAGHEM | HAJARA | SOULA     |
| n° B.I.R.H.                       | (384)      | (452)     | (354)      | (300)       | (328)   | (300)  | (462)     |
| r % Ca .....                      | 14,2       | 13,5      | 15,1       | 15,6        | 17,1    | 15,6   | 14,7      |
| r % Mg.....                       | 5,8        | 4,6       | 4,1        | 4,4         | 4,4     | 4,4    | 4,2       |
| r % Na.....                       | 30,6       | 33,1      | 30,8       | 30          | 31      | 30     | 32        |
| TOTAL cations ....                | 50,6       | 51,2      | 50         | 50          | 52,5    | 50     | 50,9      |
| r % Cl.....                       | 30,6       | 31,6      | 24,6       | 26,8        | 26,7    | 26,8   | 34,6      |
| r % SO <sup>4</sup> .....         | 10,8       | 15,8      | 16         | 17          | 18,1    | 17     | 11,5      |
| r % CO <sup>3</sup> .....         | 9,8        | 4,6       | 8,4        | 5,7         | 3,5     | 5,7    | 2,2       |
| TOTAL anions.....                 | 51,2       | 52        | 49         | 49,5        | 48,3    | 49,5   | 48,3      |
| Concentration en Equivalents..... | 94,7       | 40,7      | 17,85      | 54,1        | 93,5    | 54,1   | 120,9     |

Par ailleurs, les points d'eau à gros débits du Nubien (Hofra) et des grès dinantiens et dévoniens (Chatil), donnent des eaux dont les analyses trahissent une identité surprenante pour des résidus secs très faibles (concentration en Equivalents : 12,6 à 13,9).

TABLEAU 58

Tableau comparatif d'eaux du Nubien et du Dévono-Dinantien

| REGIONS                       | CHATI          |       | HOFRA               |       |
|-------------------------------|----------------|-------|---------------------|-------|
| LOCALITÉS                     | AIOUNE DE BRAK |       | SONDAGES DE TRAGHEM |       |
| N° B.I.R.H.                   | (304)          | (305) | (321)               | (322) |
| r % Ca.....                   | 6,8            | 6,35  | 9,5                 | 9,6   |
| r % Mg.....                   | 6,1            | 5,7   | 3,1                 | 2,6   |
| r % Na.....                   | 37,4           | 37,4  | 36,9                | 36,9  |
| TOTAL cations....             | 50,3           | 49,45 | 49,5                | 49,1  |
| r % Cl.....                   | 37,4           | 35,7  | 30,6                | 32,3  |
| r % SO <sup>4</sup> .....     | 2,6            | 3     | 9,5                 | 8,4   |
| r % CO <sup>3</sup> .....     | 10,6           | 10,7  | 11,1                | 10    |
| TOTAL anions....              | 50,6           | 49,4  | 51,2                | 50,7  |
| Concentration en Equivalents. | 13,6           | 13,9  | 12,6                | 13    |

### Région de Gatroun

Entre la pointe méridionale du djebel ben Guenemma et l'erg de Mourzouk, un chapelet d'oasis et de palmeraies s'étend, sur environ 60 km., de Gatroun à Tejerhe (Pl. IX). Ce chapelet est discontinu et simplement marqué, par endroits, par quelques puits, quelques palmiers ou une rare végétation. Orienté au N.N.E., il est prolongé vers le N., dans la direction de Majedoul, par trois ou quatre points d'eau de plus en plus espacés et dont le plus septentrional est bir Oum el Adam, qui depuis quelques temps déjà, est comblé.

Au N.N.O. de Gatroun, dans les dunes de l'erg, se trouve un autre puits, bir Mestouta, sensiblement situé à mi-chemin entre cette localité et Mourzouk, mais inaccessible autrement qu'à chameau.

Pas plus là qu'à propos de la région de Majedoul, nous ne pouvons donner de mesures barométriques corrigées, valables. Les observations altimé-

triques situent cette région à la cote de 500-510 que nous admettons<sup>1</sup>. Entre Gatroun et Majedoul, après avoir atteint 520 m., l'altitude décroît de nouveau jusqu'à 470 m.

Le chapelet, dont nous n'avons pu visiter tous les points d'eau, occupe une légère dépression : celle-ci est limitée vers l'E. par un sérir de cailloux siliceux s'étendant au pied de la falaise qui peut être suivie depuis Majedoul; cette falaise s'estompe à la hauteur de Gatroun avec une orientation sensiblement N.S. et se retrouve avant d'arriver à Tejerhe avec une orientation N.E.-S.O. Vers l'O. se rencontre un sérir sableux qui s'étend vers l'erg de Mourzouk.

Quelques affleurements calcaires apparaissent entre Majedoul et la latitude de bir Oum el Adam, vers Gatroun et Tejerhe. Quelques dunes situées vers l'O. prennent de l'importance vers Tejerhe.

Sur toute sa longueur, cette dépression est très difficilement accessible car la progression est gênée par d'immenses étendues de *feich-feich* violets et gris. Ceux-ci sont souvent recouverts par des cailloux siliceux de tailles variables provenant du sérir voisin; ils interdisent aux automobiles l'accès des localités voisines de l'erg.

#### 1. — SITUATION GEOLOGIQUE

Le Nubien apparaît dans la petite falaise et dans les quelques buttes-témoins à l'E. de la piste de Majedoul-Gatroun. Les séries relevées sont faites d'alternances de bancs de grès bruns et blancs grossiers ou fins souvent conglomératiques, et de bancs de marnes blanches, grises ou violettes, en passées d'importances variables.

Vers Tejerhe, grès et marnes sont de couleurs nettement plus foncées. Les grès présentent des zones d'altérations ferrugineuses, rouges ou brunes. Les marnes sont souvent psammitiques.

Quelques placages isolés de calcaires patinés, gris-bleu, beige avec alvéoles sur la cassure, que nous avons déjà signalés au N. de Majedoul, se rencontrent entre cette localité et bir Oum el Adam. Nous les avons attribués au Paléogène supérieur.

Plus au S., de Gatroun à Tejerhe, on rencontre des calcaires quaternaires d'aspect différent et des marnes sablo-gréseuses. Ces calcaires sont peu compacts et sont constitués par plusieurs niveaux de croûtes souvent friables, d'épaisseurs variables entre lesquelles se trouvent des marnes sablo-gypseuses.

1. — La carte attribuée à Gatroun l'altitude de 512 m., à Tejerhe celle de 500 m. R. CAPOT-REY, à propos de cette dernière localité, donne la cote 525 [27, p. 69].



De façon classique, parmi les terrains récents, on rencontre tous les sols salés des sebkhras qui s'étirent de façon plus ou moins continue tout au long de la dépression. On rencontre également les *feich-feich* et sérir graveleux ou sableux qui recouvrent les dépôts datés précédemment et les sables des dunes de l'erg.

Les couches du Nubien plongent très faiblement vers le N.O. et l'O.N.O. au S. de Majedoul et vers l'O., vers Gatroun. Le pendage n'est pas supérieur à 3°.

Vers le N., dans la direction de Majedoul, nous avons déjà signalé que les pendages plongeaient à l'opposé de la direction que nous venons de définir; ils plongent au S.E. (p. 244) toujours faiblement. Il y a donc entre Gatroun et Majedoul un basculement général des couches et, par conséquent, un léger relèvement de la série nubienne vers le N. de Majedoul.

Vers Gatroun et Tejerhe, la structure obéit donc simplement au mouvement général de relèvement vers le S.E. en sorte qu'à 100 km. à peine dans cette direction, apparaît le Dinantien (entre Ouig el Kebir et Lugri).

Aucun renseignement ne permet de préciser l'épaisseur des terrains de recouvrement post-nubiens qui peuvent aussi bien comprendre les dépôts quaternaires identifiés, que des dépôts paléogènes supérieurs hypothétiques, inférieurs à ceux-ci.

## 2. — HYDROLOGIE

### a) LES POINTS D'EAU

Le type courant des points d'eau rencontré dans cette région est le puits équipé d'un *datou* de faible capacité. Au N. de Gatroun, en un point situé à environ 5 km. au N. de ce village, il existe toutefois un lac temporaire, souvent producteur de natron. D'autre part, dans la plupart des sebkhras qui entourent les villages, l'eau est souvent à moins de 1 m. 50 de la surface du sol. Ainsi, à l'entrée de Gatroun, celle-ci se trouve à 0 m. 50 de profondeur. L'humidité apparaît, par capillarité, à la surface du sol.

Le niveau de l'eau dans les puits se maintient entre 4 et 8 m. de profondeur; tous sont foncés dans les terrains de recouvrement; aucun n'atteint le Nubien (Tabl. 59 et Pl. XXIV, fig. 4).

Les venues d'eau sont très irrégulières et, autant qu'on en puisse juger, latérales. Les niveaux, qualités d'eaux et capacité de deux puits voisins peuvent être très variables.

### b) LES ANALYSES

Les analyses chimiques sont celles d'eau relativement chargées par rapport à ce que nous avons eu coutume de rencontrer jusqu'ici (sauf dans la Cherguya cependant): les résidus secs oscillent entre 1 et 2 gr/l.

TABLEAU 59

Relevé des points d'eaux analysés

| LOCALITE<br><br>NOM DU POINT D'EAU | N° B.I.R.H. | Cote sol | TEMPERATURES |      | Débit | Cote<br>du plan<br>d'eau |
|------------------------------------|-------------|----------|--------------|------|-------|--------------------------|
|                                    |             |          | Eau          | Air  |       |                          |
| GATROUN :                          |             |          |              |      |       |                          |
| B. Beylik.....                     | 477         |          | 21°7         | 21°  |       |                          |
| B. Public.....                     | 478         |          | 20°8         | 23°  |       |                          |
| Sebkra.....                        | 503         |          |              |      |       |                          |
| Souani El Guebli.....              | 479         |          | 23°          | 20°  |       |                          |
| EL BAHKHI :                        |             |          |              |      |       |                          |
| B. Mahtana.....                    | 480         |          |              |      |       |                          |
| EL GUEBLI :                        |             |          |              |      |       |                          |
| B. Tebninah.....                   | 481         |          | 25°          | 36°9 |       |                          |
| B. Md. Tabah.....                  | 482         |          | 23°8         | 35°  |       |                          |
| ECH CHERGUI :                      |             |          |              |      |       |                          |
| B. Septine.....                    | 483         |          | 23°5         | 33°  |       |                          |
| B. Rhatarra.....                   | 484         |          | 23°          | 31°8 |       |                          |
| TEJERHE :                          |             |          |              |      |       |                          |
| B. Ibrahim.....                    | 488         |          |              |      |       |                          |
| B. Bel Kahi.....                   | 489         |          |              |      |       |                          |

## la région de Gatroun

| Hauteur<br>au plan<br>l'eau/sol | Ca  | Mg  | Na   | Cl   | SO <sup>4</sup> | CO <sup>3</sup> | Résidu<br>sec | Degré<br>hydroti-<br>métrique | pH  |
|---------------------------------|-----|-----|------|------|-----------------|-----------------|---------------|-------------------------------|-----|
| 4,4                             | 95  | 47  | 299  | 355  | 281             | 144             | 1256          | 42                            | 7   |
| 4,6                             | 119 | 65  | 1104 | 1180 | 951             | 135             | 3672          | 55                            | 7,5 |
| 7                               | 143 | 25  | 276  | 373  | 346             | 93              | 1300          | 53                            | 7   |
| 6,5                             | 89  | 29  | 218  | 213  | 216             | 156             | 1040          | 33                            | 6,9 |
| 6,8                             | 451 | 136 | 1196 | 1633 | 1669            | 104             | 5536          | 165                           | 7,4 |
| 6                               | 95  | 19  | 207  | 231  | 214             | 109             | 880           | 31                            | 7,3 |
| 3,8                             | 172 | 63  | 667  | 692  | 907             | 147             | 2820          | 67                            | 7,1 |
| 3,1                             | 98  | 36  | 391  | 373  | 460             | 156             | 1620          | 38                            | 7   |
| 4                               | 229 | 58  | 322  | 444  | 651             | 75              | 1944          | 79                            | 7,3 |
| 4                               | 220 | 59  | 380  | 603  | 510             | 174             | 2028          | 77°5                          | 6,9 |

Les diagrammes reflètent les irrégularités que nous avons signalées antérieurement à d'autres propos : les résultats d'analyses sont en effet différents pour deux points voisins.

La teneur en ions  $\text{CO}^3$  est remarquable; nous ne l'avons jamais rencontrée aussi constamment élevée si ce n'est dans l'erg d'Oubari, où, sauf au voisinage des lacs à natron (p. 211) aux points n<sup>os</sup> 433 et 434, elle atteint des valeurs comparables.

Sur la figure 39 sont reportées les analyses d'eaux de Gatroun et des localités voisines : el Guebli (n<sup>o</sup> 482, courbe 1), el Chergui<sup>1</sup> (n<sup>os</sup> 484 et 483, courbes 2 et 4), Gatroun (n<sup>os</sup> 477 et 478, courbes 3 et 5).

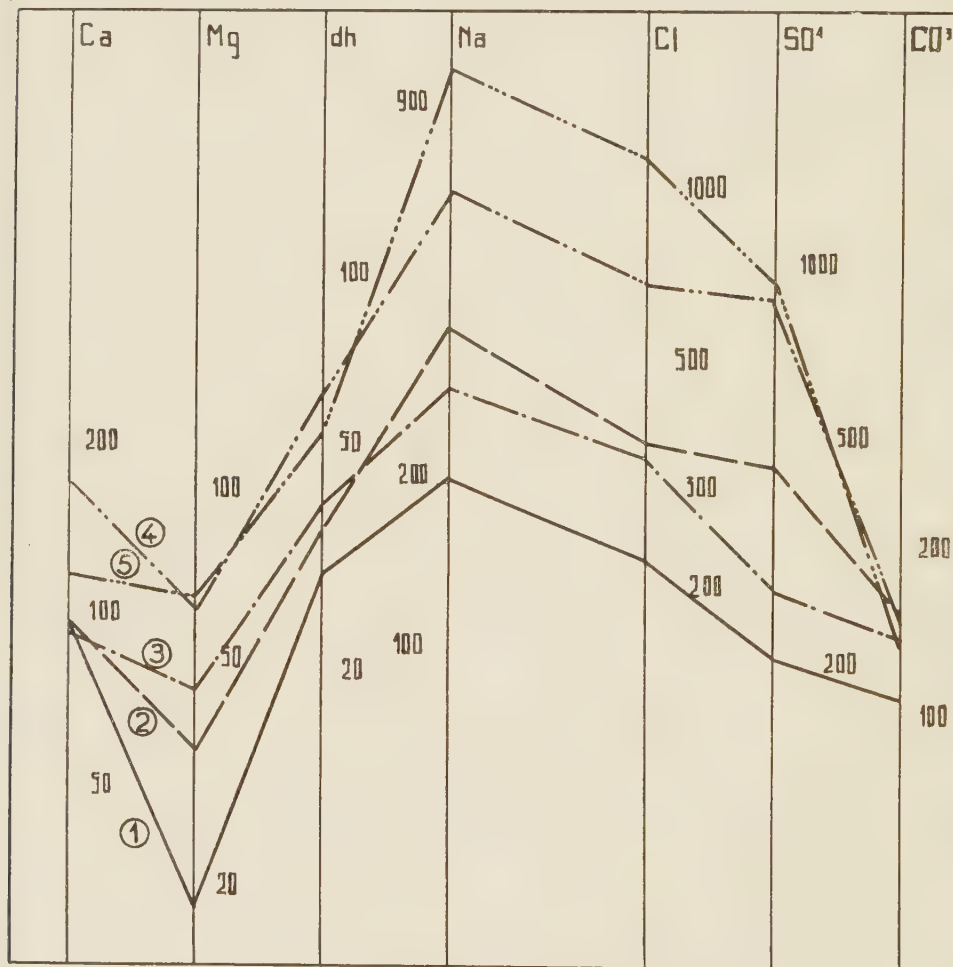


FIG. 39. — EAUX DE GATROUN ET ENVIRONS. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.  
1 : 482 (Gatroun). — 2 : 484 (environs de Gatroun). — 3 : 477 (*Id.*). — 4 : 483 (*Id.*). —  
5 : 478 (*Id.*)

1. — Ces deux noms de localités indiquent les directions dans lesquelles celles-ci se trouvent par rapport à Gatroun, le Sud et l'Est; el Gharbi et el Bahri, signifient l'Ouest et le Nord.

Quoique les points 477 et 478 de Gatroun soient voisins, on peut remarquer que les courbes sont très différentes et que celle-ci présente par rapport à celle-là un enrichissement en ions Na, Cl et  $\text{SO}_4$  et une dilution d'ions  $\text{CO}_3$ . Par contre, les points 482, 484 et 483 présentent entre eux de grandes analogies qui laissent paraître un mouvement flagrant de concentration. Remarquons que les eaux ont une tendance à être séléniteuses.

Sur la figure 40 sont consignées les analyses d'eaux d'el Bahri (n° 480, courbe 1), Gatroun (n° 479, courbe 2) et Tejerhe (n°s 488 et 489, courbes 3 et 4) auxquelles nous avons ajouté l'analyse d'une eau de Majedoul (n° 487, courbe 5).

En dehors de la teneur en ions  $\text{SO}_4$  de toutes ces eaux et du caractère séléniteux de l'eau n° 488, le mouvement de concentration est très net dans

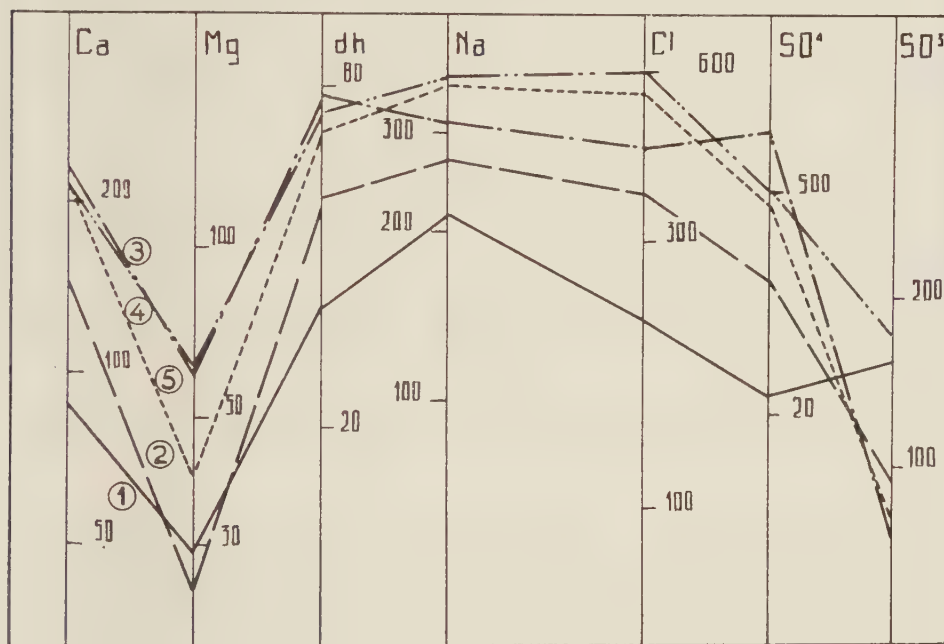


FIG. 40. — EAUX DE GATROUN ET ENVIRONS. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.  
1. 480 (Bahri). — 2. 479 (Gatroun). — 3. 488 Tejerhe). — 4. 489 (Tejerhe). — 5. 487 (Majedoul).

l'ensemble. La courbe de l'eau n° 487 de Majedoul s'insère parfaitement dans celui-ci. La faible teneur relative en ions Cl et Na est remarquable.

Le Tableau 60 permet, d'ores et déjà, compte tenu des erreurs relatives aux analyses et qui rendent souvent délicat le maniement des résultats (les équilibres ioniques ne sont pas parfaits), de conclure à l'identité des eaux de Majedoul, et par conséquent des eaux de la Hofra, de Gatroun et de Tejerhe.



TABLEAU 60

Tableau des r % dans les eaux de la région de Gatroun

| N° B.I.R.H.                       | GATROUN<br>(477) | BAHRI<br>(480) | GATROUN<br>(479) | TEJERHE<br>(488) | TEJERHE<br>(489) | MAJEDOUL<br>(487) | MAGOUA<br>(336) |
|-----------------------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------|
| r % Ca.....                       | 11               | 13,6           | 17,2             | 19,2             | 15,4             | 18,5              | 14              |
| r % Mg.....                       | 8,7              | 7,5            | 4,6              | 8,2              | 7,4              | 4,5               | 8               |
| r % Na.....                       | 29,9             | 28,7           | 27,6             | 22,4             | 23,8             | 28,5              | 28              |
| TOTAL cations....                 | 49,6             | 49,8           | 49,4             | 49,8             | 46,6             | 51,5              | 50              |
| r % Cl.....                       | 23               | 19,7           | 23               | 20,8             | 23,8             | 26,9              | 28              |
| r % SO <sup>4</sup> .....         | 13,5             | 13,6           | 17,2             | 22,4             | 15,4             | 16,8              | 20              |
| r % CO <sup>3</sup> .....         | 11,2             | 16             | 10,1             | 4,1              | 8,4              | 4,5               | 2,5             |
| TOTAL anions....                  | 47,7             | 49,3           | 50,3             | 47,3             | 47,6             | 48,2              | 50,5            |
| Concentration en Equivalents..... | 43,4             | 33             | 43,4             | 60,5             | 67               | 59,4              | 100,5           |

## 3. — HYDROGEOLOGIE ET COMPARAISONS AVEC LES REGIONS VOISINES

La nappe exploitée de Gatroun à Tejerhe a des caractères franchement superficiels qui trahissent, outre une faible perméabilité, un cheminement difficile vers les puits. Cependant, en tenant compte, comme dans l'ouadi Heutba, de la persistance des ressources qui restent indifférentes aux sécheresses et aux précipitations, et de leur volant qui semble, de ce fait considérable, nous arrivons à concevoir qu'il s'agit d'un système hydraulique très important qui a son siège dans les grès nubiens sous-jacents et qui ne fait que se manifester localement.

L'identification des eaux de cette région avec celles de Majedoul étend très au S. le système mis en évidence vers la Cherguya-Majedoul et qui fait du Nubien le réservoir de toutes les ressources hydrauliques qui se manifestent plus ou moins librement en surface. Car il est permis de penser que, probablement comme à Traghem, la pénétration vers la surface, aux points où la surface topographique se rapproche de la surface piézométrique,

que, est gênée dans les terrains colmatés que nous avons observés et qui doivent provoquer des pertes de charge sensibles; en sorte que le niveau statique que nous relevons peut n'être qu'apparent.

Il est à noter encore combien les tracés des eaux de la région de Gatrout sont voisins de ceux des eaux de l'erg d'Oubari : la comparaison des figures 39 et 40 à la figure 29 est, à ce propos, très intéressante.

## Régions du pourtour du Fezzan

### 1° BORDURE ORIENTALE

Il n'y a aucun point d'eau à l'E. d'Oum el Abid ou de T'messa (cf. Pl. hors-texte).

Les seuls points situés dans cette région, se trouvent respectivement au N.E. et au S.O. de ces deux villages; il s'agit de el Fogha et de Ouau el Kebir.

Ces deux localités sont situées dans les terrains éocènes.

### 2° BORDURE MERIDIONALE

Au S.E. de Tejerhe, avant d'atteindre l'enceinte montagneuse du Tibesti, existent quelques points d'eau à Ouig el Serir et Ouig el Kebir dans le Nubien, à Lugri dans le Dinantien, à Lebo dans le Silurien.

Au S. de Tejerhe, les terrains rencontrés ont été décrits. Les premiers points d'eau, dans cette direction, se rencontrent à Toumo situé à la cote 780 dans le Nubien.

### 3° BORDURE OCCIDENTALE

Dans cette région du Fezzan se trouve la vallée de l'oued Tanezzouft orientée S.N., située entre la falaise escarpée du Tadrart que prolonge l'Akakous et les derniers contreforts orientaux du Tassili des Ajjer.

#### a) GHAT

Cette agglomération très pittoresque, construite à la limite des grès siluriens inférieurs du Tassili et des argiles schisteuses du Gothlandien inférieur, se trouve en bordure de la vallée du Tanezzouft. C'est la première de plusieurs autres petites oasis qu'on rencontre plus au S.

On trouve là des puits (Tabl. 64) dans lesquels l'eau est ascendante. Au S. et à l'O. de cette localité on rencontre des aioune. L'eau des puits est chaude (33° 6). Le résidu sec en est très faible (200 et 238 mg/l) et trahit leur qualité remarquable.

TABLEAU 61

Relevé des points d'eaux analysés

| LOCALITES<br>Nom du point d'eau | N°<br>B.I.R.H | Cote<br>sol | TEMPERATURES |       | Débit | HAUTE<br>du pl<br>d'eau/ |
|---------------------------------|---------------|-------------|--------------|-------|-------|--------------------------|
|                                 |               |             | eau          | air   |       |                          |
| REGION OCCIDENTALE              |               |             |              |       |       |                          |
| Ghat :                          |               |             |              |       |       |                          |
| Aïn .....                       | 436           | 700         | 33° 6        | 23° 2 | 8     | 2                        |
| B. Oul Tarbienne .....          | 437           |             |              |       |       | 0                        |
| Aïn Faouette .....              | 559           |             |              |       |       |                          |
| Gara des Djenouns.....          | 438           |             |              |       |       |                          |
| Serdeles :                      |               |             |              |       |       |                          |
| B. Koustine .....               | 439           | 630         | 19° 1        | 20° 1 |       | 1                        |
| Aïn Jent Badja .....            | 440           |             | 19° 8        | 21°   | 0,5   |                          |
| B. Ismaïl .....                 | 441           |             | 20° 6        | 25° 6 |       | 1                        |
| Aïn Fort .....                  | 442           |             | 26° 3        | 24° 2 | 1,8   | 1                        |
| B. Salah .....                  | 443           |             |              |       | 3,2   |                          |
| Tihemboka :                     |               |             |              |       |       |                          |
| Tin Essaouel .....              | 556           |             |              |       |       |                          |
| Tin Abouka .....                | 555           |             |              |       |       |                          |
| Tan Erekeb .....                | 551           |             |              |       |       |                          |
| Tan Idda .....                  | 553           |             |              |       |       |                          |
| Tan Oufenait .....              | 554           |             |              |       |       |                          |
| Hassi in-Akéouet .....          | 557           |             |              |       |       |                          |
| REGION SEPTENTRIONALE           |               |             |              |       |       |                          |
| Ghadamès :                      |               |             |              |       |       |                          |
| Aïn-el-Frass .....              | 368           | 350         | 30° 3        |       | 24,5  | 1                        |
| Sondage italien .....           | 370           |             | 30° 5        |       |       |                          |
| Derdj :                         |               |             |              |       |       |                          |
| Aïn Tafeguet .....              | 362           | 460         | 21° 6        |       | 1     | 2                        |
| Aïn Goddard ..                  | 353           |             | 22°          |       | 0,7   | 2                        |
| Bir Ghzel .....                 | 278           | 650         | 23° 5        |       |       | 63                       |
| Aouinet-Ouennin .....           | 494           | 470         | 20°          | 25°   |       | 2                        |
| El Hassi .....                  | 495           | 400         | 22° 5        | 19°   |       | 5                        |

## régions du pourtour du Fezzan

| COTE<br>DU PLAN<br>D'EAU | Ca  | Mg  | Na  | Cl  | SO <sup>4</sup> | CO <sup>3</sup> | RESIDU<br>SEC | DEGRE<br>hydroti-<br>métrique | pH   |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----------------|-----------------|---------------|-------------------------------|------|
| 700                      | 24  | 13  | 40  | 44  | 69              | 48              | 200           | 11                            | 7,6  |
|                          | 53  | 11  | 40  | 43  | 76              | 48              | 238           | 17                            | 7,6  |
|                          | 43  | 1   | 14  | 18  | 33              | 51              | 200           | 10                            | 7    |
|                          | 196 | 69  | 121 | 160 | 608             | 90              | 1140          | 76                            | 7,35 |
| 630                      | 18  | 18  | 54  | 35  | 103             | 27              | 240           | 11                            | 6,8  |
|                          | 15  | 9   | 41  | 32  | 57              | 34              | 194           | 7                             | 7,3  |
|                          | 26  | 11  | 59  | 50  | 110             | 37              | 308           | 11                            | 7,1  |
|                          | 12  | 9   | 38  | 28  | 46              | 30              | 112           | 6                             | 7    |
|                          | 17  | 10  | 14  | 21  | 34              | 0               | 238           | 8                             | 6,9  |
| 620                      | 245 | 55  | 237 | 346 | 549             | 169             | 1650          | 82                            | 7,1  |
| 620                      | 144 | 46  | 127 | 213 | 235             | 138             | 960           | 54                            | 7,2  |
| 620                      | 160 | 28  | 120 | 177 | 278             | 132             | 920           | 50                            | 7,2  |
| 620                      | 159 | 26  | 110 | 177 | 249             | 133             | 880           | 44                            | 7    |
| 620                      | 173 | 39  | 129 | 266 | 282             | 114             | 1030          | 58                            | 7,2  |
| 630                      | 114 | 37  | 37  | 62  | 225             | 118             | 630           | 43                            | 7    |
| 360                      | 308 | 142 | 287 | 390 | 1154            | 121             | 2550          | 132                           | 7,3  |
|                          | 304 | 134 | 276 | 390 | 1252            | 120             | 2422          | 128                           | 7,2  |
| 460                      | 229 | 108 | 253 | 302 | 831             | 121             | 1864          | 99                            | 7,2  |
| 587                      | 278 | 109 | 230 | 320 | 949             | 146             | 2100          | 112                           | 7,2  |
| 467                      | 321 | 120 | 345 | 515 | 994             | 111             | 2330          | 127                           | 7,35 |
| 395                      | 128 | 51  | 368 | 444 | 512             | 99              | 1638          | 62                            | 7,4  |

L'altitude de cette localité est différemment évaluée : 760 m. d'après la carte au 1/1.000.000<sup>me</sup>; 660 m. pour R. CAPOT-REY. Nous avons observé, pour notre part, une altitude de 700 m.

Les courbes logarithmiques correspondant aux analyses des eaux de puits (n<sup>os</sup> 436 et 437) et d'eau de l'ain Faouette, situé à 8 km. l'O. de Ghat (n<sup>o</sup> 559), sont consignées sur la figure 41.

Le degré hydrotimétrique de ces eaux, relativement au résidu sec, est élevé : les ions Ca et SO<sup>4</sup> sont dominants; la teneur en ClNa est faible. Il y a

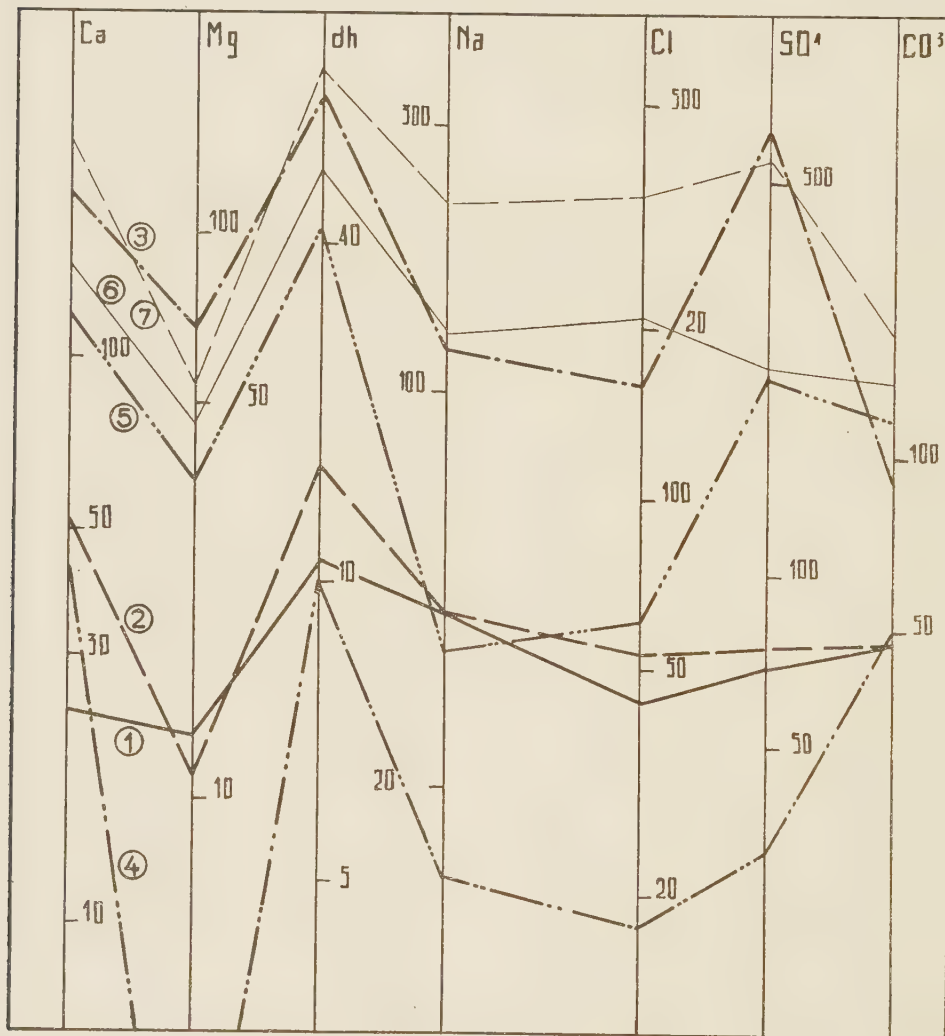


FIG. 41. — EAUX DE LA BORDURE OCCIDENTALE. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.  
1 : 436 (Ghat). — 2 : 437 (Ghat). — 3 : 438 (Djenouns). — 4 : 559 (Ain Faouette). —  
5 : 557 (Hassi in Akeouet). — 6 : 555 (Tin Abouka). — 7 : 556 (Tin Essaouel).



une évolution très nette des eaux prélevées vers l'O., dans les grès du Silurien inférieur, vers les eaux prélevées à Ghat vers la limite des mêmes grès et des couches marines. Cette évolution se traduit lors de la concentration par un enrichissement net en ions Mg et  $\text{SO}^4$ .

#### b) AU NORD DE GHAT

A une trentaine de kilomètres au N. de Ghat, dans le lit de l'oued Tanez-zouft, au pied de la gara des Djenouns, se trouve un puits dont l'eau (n° 438) a été prélevée sans puisage préliminaire.

Son résidu sec est cependant moyen (1.140 mg/l). Il est probable, d'après le tracé, que cette eau a été influencée par les schistes gothlandiens sous-jacents. La courbe indique une très forte teneur en ions  $\text{SO}^4$  et en ions alcalino-terreux donc une eau nettement séléniteuse (figure 41).

Il est difficile d'essayer d'établir actuellement des parallèles avec les eaux de Ghat.

#### c) SERDELES

Serdeles se trouve sur le terrain de parcours des nomades qui vont du Tassili des Ajjer à l'ouadi Heutba ou à l'ouadi el Ajal, et sur la route d'Oubari à Ouargla ou à Ghat. On y trouve, de ce fait, des petits villages de nomades sédentarisés ou de semi-nomades groupés autour de quelques petits *aïoune*, ou griffons, d'où l'eau suinte faiblement. Ceux-ci se trouvent notamment au N.O. du Fort.

Des terrains salés couvrent une grande superficie : on trouve notamment des dépôts d'aluns et de sulfates en quelques points (p. 69).

La région semble riche en eau. Les venues d'eaux ne se manifestent pas toutes aux mêmes niveaux. De plus, les quelques petits *aïoune* existants sont engoncés dans la petite végétation et encombrés par de la vase; l'un deux, nettoyé, vit son débit passer de 0,2 à 0,4 l/sec. L'*aïn* dont le débit est le plus élevé (2 l/sec), a une eau relativement tiède ( $26^{\circ} 3$ , température de l'eau des sondages de Traghem à peu près à la même époque).

Les résidus secs sont étrangement faibles (308 mg/l) dans cette région où les terrains salés abondent; ils dénotent des eaux excellentes à tendance séléniteuse.

Des courbes d'analyses de ces eaux sont portées sur la figure 42. Quoique provenant de points rapprochés, on peut constater que les influences des terrains superficiels ont amené une certaine diversité dans les teneurs. Comme de coutume, on peut remarquer que l'*aïn* de plus fort débit a une eau moins chargée que toute autre. Durant le mouvement de concentration, on peut constater que les ions Na sont excédentaires par rapport aux ions Cl,

mais surtout que ce mouvement se traduit par un enrichissement en ions  $\text{SO}_4$  et en alcalino-terreux, Ca ou Mg. On peut constater également que les tracés des analyses des eaux 436 de Ghat et 441 de Serdeles sont très voisins, ne différant uniquement que par les teneurs en ions  $\text{SO}_4$  et Ca qui sont plus fortes à Serdeles. Cependant, cette dernière localité se trouve sur des terrains dévono-dinantiens qui sont séparés de ceux qui contiennent les eaux de Ghat par la formation des argiles gothlandiennes du Tanezzouft.

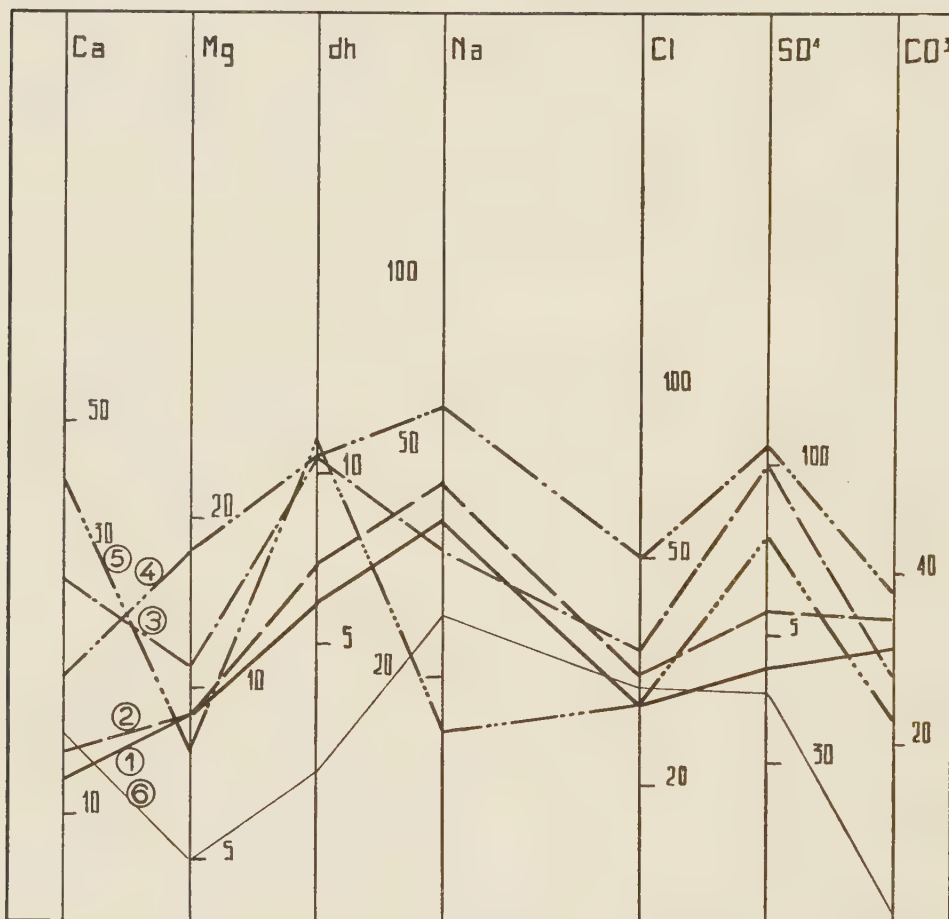


FIG. 42. — EAUX DE LA BORDURE OCCIDENTALE. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.  
1 : 442 (Serdelès). — 2 : 440 (Serdelès). — 3 : 441 (Serdelès). — 4 : 439 (Serdelès). — 5 : 452 (Gorda). — 6 : 523 (Ghreifa).

Nous ne pouvons tirer parti outre mesure des caractères de ces eaux; une parenté existe cependant dont nous devons tenir compte et qui doit nous forcer à composer avec le caractère imperméable reconnu jusqu'ici aux *Schistes à Graptolites*.

Il est bon de noter également qu'entre les eaux des forages de Gorda (n° 451), de Ghreifa (n° 523) et celles de Serdeles, il existe une parenté nette : les variations dues aux teneurs en ions  $\text{SO}^4$  et Ca pour Gorda et en ions  $\text{SO}^4$ , Ca ou Mg et Na pour Serdeles, indiquent des influences superficielles.

d) AU NORD DE SERDELES

Des sources globalement alignées suivant une orientation générale E.O. existent à une centaine de kilomètres au N.O. de Serdeles, dans le Tihemboka, dépression située en Algérie.

Ces sources viennent corroborer la possibilité des « fuites » à travers la série argilo-schisteuse gothlandienne. En effet, ce sont des argiles à *Diplograptus* qui affleurent dans cette région : elles sont affectées généralement d'un pendage de 2 à 3° vers le N., sauf cependant sur la bordure méridionale de la dépression où des pendages plus forts ont été observés dans des directions variables (N.O. et N.E.). C'est sur cette bordure méridionale de la dépression du Tihemboka et, plus particulièrement, à ses deux extrémités marquées d'ailleurs par des terrains de sebkhras, que se trouvent les sources mentionnées.

Celles-ci se trouvent généralement sur de petites éminences et sont entourées de dépôts abondants, durs, de travertins. Elles indiquent un caractère artésien certain, surtout vers l'O., vers Tin Kena où le fait est particulièrement net (le bas-pays où cette donnée est utilisable y est par conséquent d'une superficie plus grande que vers l'E.).

Il est probable que cet alignement de sources doit correspondre à une zone fracturée. L'importance des dépôts travertineux, les faibles débits et les basses températures des eaux permettent de penser que le phénomène artésien est en voie de se bloquer par colmatage.

Les analyses des eaux (Tabl. 61) donnent des courbes (figure 41) très homogènes : il s'agit d'eaux de Hassi in Akeouet<sup>1</sup> (courbe 5, n° 557), Tin Abouka (courbe 6, n° 555) et Tin Essaouel (courbe 7, n° 556). Le mouvement de concentration est particulièrement net. Les eaux ont des caractères séléniteux et calcaires qui vont en s'atténuant avec l'accroissement du résidu sec. Il est à noter que la forte teneur en  $\text{CO}^3$  de ces dernières eaux, peut être liée à la pollution d'origine végétale ou animale que nous avons constatée dans chacun des trous d'eau correspondants, sauf peut être à Hassi in Akeouet.

Il semble qu'une évolution soit admissible à partir du tracé de l'eau du Silurien inférieur de Faouette (n° 559) par un enrichissement en ions  $\text{SO}^4$

1. — Hassi in Akeouet, se trouve hors du Tihemboka, à environ 25 km. à l'Ouest de Tin Kena. Il est foncé dans des grès du gothlandien supérieur.

et Mg au contact des terrains marins du Gothlandien. Cette évolution nous apparaîtrait sous une forme exagérée dans l'eau n° 438 du puits de la gara des Djenouns situé dans l'oued Tanezzouft.

Ces évolutions, discernables, des eaux du Silurien inférieur à celles du Gothlandien et à celles de Dévono-dinantien, jointes aux observations du Tihemboka, confirment l'idée d'une certaine unité dans ces manifestations hydrauliques.

#### e) CONCLUSION

De ces éléments épars, on ne peut tirer une étude détaillée. On peut cependant essayer d'en fixer les grandes lignes dans l'état actuel de nos connaissances.

Les deux ensembles poreux rencontrés dans le Fezzan occidental ont déjà été décrits : le Silurien inférieur du Tassili des Ajjer et le Gothlandien supérieur-Dévonien du Tradart-Akakous. Ils sont séparés par la série marine argileuse gothlandienne. Celle-ci vers le S., perd son faciès marin profond et a un faciès néritique poreux, comparable à celui des deux séries qui l'encadrent. Ces deux ensembles poreux s'avèrent être le siège de ressources hydrauliques.

Celles qui sont emmagasinées par les grès cambro-siluriens ont leur surface d'équilibre normalement inclinée vers l'E. et vers le N., suivant la structure en auréole, de Djanet (environ 900 m.), à Ghat (700 m.) et plus au N. du Tihemboka (620 m.). Elles tendent en même temps à se mettre en charge sous les argiles gothlandiennes.

La ligne des points d'eau de Ghat correspond au contact de ces terrains imperméables avec les couches poreuses subordonnées. Elle correspond à une ligne de débordement de la nappe cambro-silurienne qui se met en charge sous les couches argileuses. Ce débordement s'écoule vers la dépression qui, dans cette région, limite l'enceinte tassilienne. Il est possible que le puits de la gara des Djenouns (n° 438) soit alimenté par l'under-flow résultant de l'écoulement de ces eaux dans les terrains détritiques alluvionnaires. La présence d'alternances de grès et d'argiles et le passage de faciès (p. 24) qui se fait entre Ghat et In Ezzan au S., peuvent introduire des diversités dans les manifestations du système hydraulique : Ces diversités se traduiront (comme cela a été remarqué dans le Chati) par des niveaux statiques, des caractères chimiques, des températures, des débits qui seront variables en des points voisins.

Vers le N., l'altitude étant défavorable, il n'y a pas de trace comparable de débordement au contact des mêmes séries. Vers le Tihemboka, les



eaux du Tassili réapparaissent dans des couches assez élevées dans le Gothlandien marin, probablement grâce à des fissures. Les caractères des sources indiquent une mise en charge certaine; les résidus secs indiquent un parcours souterrain, vers la surface, lent ou prolongé.

Vers le S. de Ghat, le débordement n'est plus possible. Le Gothlandien n'est plus, lithologiquement, individualisé des dépôts de son mur et de son toit. Il n'y aurait plus, dans cette partie du Fezzan sud-occidental, qu'un seul et même système hydraulique, intéressant le Cambro-silurien et le Dévonien.

Vers l'E., Serdeles est placé par rapport aux grès dévoniens comme Ghat l'était par rapport aux grès du Silurien inférieur. Les caractères des eaux semblent rendre compte d'une évolution que nous avons tenté de retracer. La faiblesse des résidus secs implique une dilution due à un apport très faiblement minéralisé provenant probablement des grès dévoniens eux-mêmes. Cet apport correspondrait évidemment aux quantités d'eau recueillies par l'impluvium Tadrart-Akakous. De la sorte, celui-ci semble venir rénover la qualité chimique des eaux qui ont percolé la série gothlandienne marine.

L'étude des variations du niveau statique est rendue très délicate par les divergences de vue des différents observateurs à propos des altitudes; nous sitons Serdeles à la cote 620-630. Entre le méridien de Ghat et celui de cette localité, ceci implique une perte de charge de 2 m/km. environ.

Il est permis de penser que la communication peut s'établir entre ces deux couches poreuses non seulement, naturellement par le S., mais aussi localement, car l'imperméabilité peut être relative dans les terrains schisteux: les sources du Tihemboka en témoignent. Ces terrains schisteux, en effet ont dû supporter ou ressentir des secousses et des oscillations répétées: celles-ci ont causé les transgressions, les régressions et les mouvements orogéniques que nous connaissons (Pl. XIII) et qui, concurremment, ont pu fissurer les couches déposées antérieurement.

A l'échelle des temps et des surfaces dont il s'agit, cette imperméabilité peut, en définitive, ne plus exister; il est, en effet, possible que le débit total qui vient au jour dans la région de Serdeles corresponde au débit du Cambro-Silurien à travers le voile gothlandien fissuré et considéré comme imperméable pour ce débit.

Nous devons, en somme, retenir qu'un écoulement est possible; cet écoulement se fait dans le sens de la structure, les bancs schisto-marneux pouvant ralentir le mouvement (pertes de charge) sans pouvoir, apparemment, l'interdire complètement.



Nous entrevoyons du même coup la possibilité de sondages profonds convenablement implantés, qui, traversant le Gothlandien argileux de Serdeles ou du Tihemboka, atteindraient le Silurien inférieur et ses ressources. Nous reviendrons ultérieurement sur cette question.

#### 4° BORDURE SEPTENTRIONALE

Elle est occupée par les terrains du Crétacé supérieur de la hamada el Homra (p. 55) que prolonge vers l'O. la hamada de Tinghert. Ceux-ci sont discordants (Pl. XVIII, fig. 2) sur la série inclinée vers le N.N.O., qui des Gargafs, par Aouinet-Ouennin jusqu'à Dembara et, au-delà, jusqu'à Fort-Flatters, laisse voir le Dévonien, le Dévonien supérieur marin (pp. 33, 34), le Viséen (p. 52) et l'Albien.

Ces hamadas correspondent à un immense plateau constamment plat et sans relief (Pl. XVIII, fig. 6). Il est cependant découpé vers bir Ghzel, dans sa partie occidentale vers Derdj et Ghadamès au delà desquels il est recouvert par les dunes du Grand Erg Oriental, et dans sa partie septentrionale; il est terminé au S. par une haute falaise qui domine les plateaux gréseux des Gargafs, les dunes du grand erg d'Oubari, et plus à l'O., en Algérie, celles de l'erg d'Issaouan.

Nous avons vu que le Cénomaniien constituait les affleurements les plus méridionaux; que le Turonien devait affleurer dès la petite falaise de l'oued Souamakh (Pl. XI). Bir Ghzel doit être dans le Sénonien inférieur; Ghadamès est dans le Sénonien supérieur (Pl. XV, coupe 2).

La limite structurale, ou encore la bordure septentrionale de la cuvette fezzanaise (Pl. I), passe légèrement au N. du Chati, allant des Gargafs méridionaux au Zegher. Les terrains du Crétacé supérieur sont donc structuralement en dehors de la Cuvette fezzanaise. Ils sont le siège d'un système hydraulique qui est influencé par la présence de deux dépressions, aux limites méridionale et nord-occidentale des hamadas.

L'une est occupée par le Grand Erg Oriental situé à l'O. de Ghadamès; il s'agit d'une cuvette topographique et structurale inclinée vers le N.

L'autre est la grande et large vallée qui sépare l'escarpement méridional de la hamada des dunes de l'erg d'Oubari et de celles de son homologue plus à l'O., l'erg d'Issaouan. Ces deux ergs sont séparés par des plateaux gréseux qui, suivant le méridien de Fort de Polignac s'étendent de façon plus ou moins continue du Tassili jusqu'au Tinghert.

Ceci se traduit pour le système Crétacé supérieur par deux tendances qui apparaissent lors de l'étude de la surface piézométrique (Pl. XV, coupe 1). En effet, les seuls points d'eau existant sur la hamada sont groupés d'O. en E. vers Ghadamès, Derj et à Bir Ghzel. A l'E. de ce dernier puits, il n'existe

plus aucun point d'eau jusqu'à la route de Mizda et Sebha. On trouve d'autres puits en bordure de la falaise dont nous avons parlé (Pl. XI) : le puits d'Aouinet-Ouennin est ainsi situé dans les terrains dévoniens au pied même de l'escarpement. Entre les Gargafs et l'erg d'Oubari, à 30 km. au S.S.O. du puits précédent, en existe un autre, el Hassi, foncé dans des terrains de recouvrement calcaro-gréseux et marno-gréseux du Paléogène supérieur. Plus au S., on rencontre d'ultimes points d'eau, clairsemés dans la partie septentrionale de la « zone du Chott » qui prolonge le Chati vers le N.O. Dans les Gargafs, il n'existe pas un puits malgré les tentatives répétées des sahariens pour trouver l'eau. Vers l'O., quelques très rares puits existent au pied de la hamada el Homra.

Les niveaux statiques observés permettent de préciser, en partie, l'allure de la surface d'équilibre du système crétacé supérieur. Dans sa partie occidentale, celle-ci est inclinée vers l'O., le N.O. et le N. ; à bir Ghzel : 540 m. ; à Ghadamès : 315 m. ; à Derj : 320 m. L'écoulement dans ce sens est favorisé par le pendage des couches.

Dans sa partie méridionale et orientale, elle est légèrement inclinée vers le S. ; à bir Ghzel : 540 m. ; à Aouinet Ouennin : 570 m. Mais ce dernier écoulement doit être en partie neutralisé par le fait que les couches paléozoïques relativement poreuses qui apparaissent sous la hamada, plongent vers le N.O. Elles peuvent ramener dans cette direction, sous les couches peu perméables du Cénomanién, les eaux attirées par la brusque dénivellation qui s'étire au N. de l'erg d'Oubari.

L'étude des analyses des eaux doit apporter sa contribution à cette étude (Tabl. 61) : celles-ci sont de qualités moyennes (1864 à 2422 mg/l) et trahissent un caractère séléniteux aussi net que celui du puits de la gara des Djenouns dans le lit de l'oued Tanezzouft (n° 438).

Sur la figure 43 sont consignés les tracés correspondants à des analyses d'eaux de Derj (n°s 353 et 362, courbes 1 et 2), bir Ghzel (n° 278, courbe 3) et Ghadamès (n°s 370 et 368, courbes 4 et 5).

On peut constater la parfaite homogénéité des tracés, donc de la salure des terrains du Crétacé supérieur en des points distants de plus de 200 km. Les tracés correspondants aux analyses des eaux des puits de el Hassi (n° 495, courbe 1) et d'Aouinet-Ouennin (n° 494, courbe 2) sont portés sur la figure 44. L'eau de el Hassi est manifestement différente de l'eau d'Aouinet-Ouennin plus riche en alcalino-terreux et en ions  $SO_4$ .

Nous avons rappelé des tracés d'eaux de la hamada el Homra (n° 278, bir Ghzel) et du Chati (n° 309, el Golla) afin de les comparer. Et nous voyons immédiatement à quelle famille rattacher ces deux points d'eau.

Aouinet Ouennin, quoique foncé en terrain dévonien, appartient au système qui se manifeste dans le Crétacé supérieur. El Hassi appartient au système du Chati, donc dévonien : son eau n'est pas influencée par les débordements crétacés.

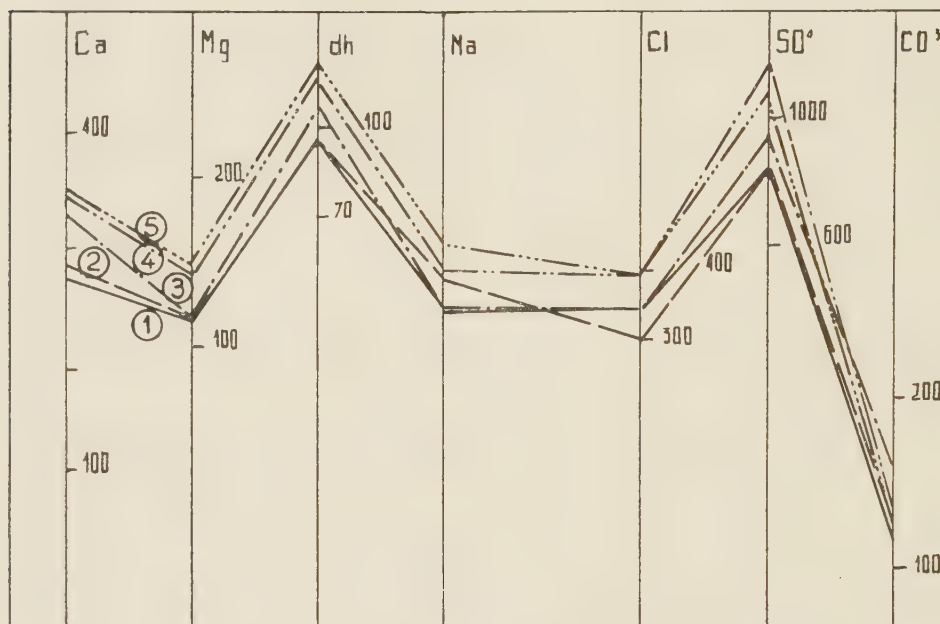


FIG. 43. — EAUX DE LA BORDURE SEPTENTRIONALE. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.  
1 : 353 (Derj). — 2 : 362 (Derj). — 3 : 278 (Bir Ghzel). — 4 : 370 (Ghadamès). 5 : 358 (Ghadamès).

L'examen des  $r\%$  (Tabl. 62) complète ces vues.

Or, el Hassi se trouve à 30 km. du pied de la falaise de la hamada. Dans les terrains subordonnés au Crétacé supérieur renforcé ou alimenté en majeure partie dans cette région par le système crétacé supérieur lui-même, peut donc exister un système dévonien supérieur et probablement aussi un système albien qui, des Gargafs septentrionaux, et plus à l'O., de Fort de Polignac, s'enfoncent vers le N.O. et le N.; ces systèmes sont d'ailleurs susceptibles de renforcer localement à leur tour, le système du Crétacé supérieur vers l'intérieur de la cuvette dans une mesure impossible à préciser.

La nappe qu'exploitent les différents points d'eau de la hamada, et notamment les sondages de Ghadamès et de Derj, doit avoir son siège dans le Turonien dont les bancs calcaires constituent la seule roche magasin de puissance suffisante et intéressante. Il est d'ailleurs certain que des bancs du Sénonien inférieur renferment des réserves d'eau qui alimentent des ag-

glomérations telles que Sinaouen, l'oued Derj, Derj, etc... Le sondage de Derj (n° 545, p. 58) qui a probablement atteint la partie supérieure de l'Albien, nous donne à ce sujet d'utiles renseignements. Il nous indique entre autres, que l'eau turonienne n'est pas artésienne (niv. stat. à 320 m. environ) comme elle l'est au sondage de Ghadamès n° 370 (niv. stat. à 315 m.).

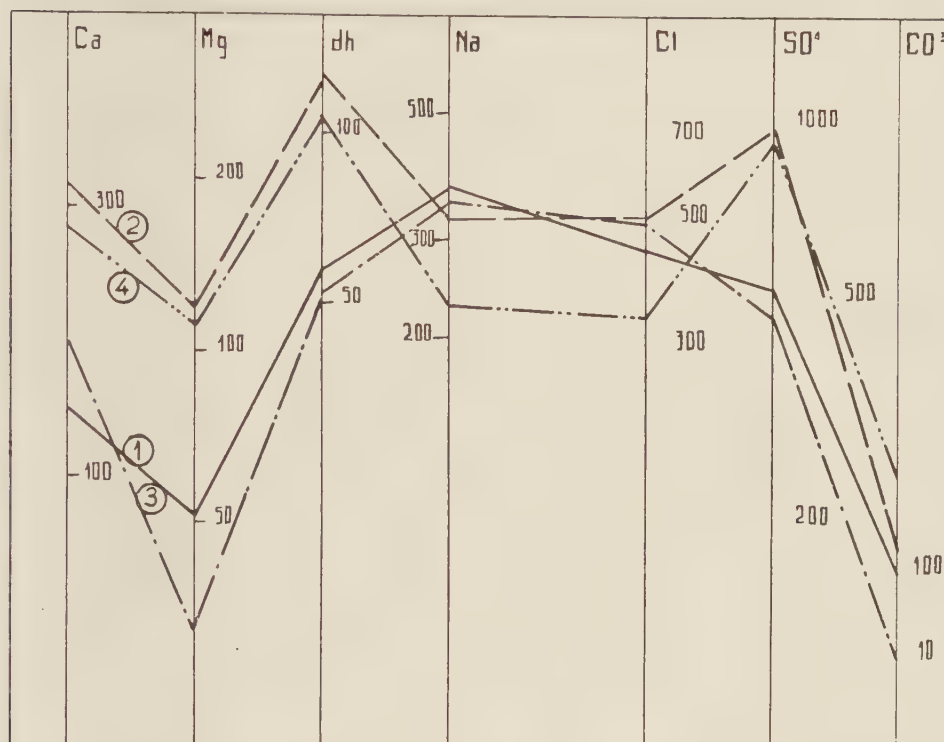


FIG. 44. — EAUX DE LA BORDURE SEPTENTRIONALE. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.  
1 : 495 (El Hassi). — 2 : (Aouinet-Ouennin). — 3 : 309 (El Golla). — 4 : 278 (Bir Ghzel).

De toute façon, les systèmes hydrauliques du Crétacé supérieur, turonien et sénonien inférieur, ont une ampleur sensiblement comparable, en superficie, à celui ou à ceux qui s'étendent sur le Fezzan. Ils se poursuivent en effet jusqu'à l'O. et au N. du Chott Djerid, jusque dans le Nefzaoua et le chott Fedjedj, où affleurent l'Albien et les différents étages du Crétacé supérieur : là existent trois types principaux d'eaux<sup>1</sup>. Or il se trouve que l'eau de l'*aïn* Taouerrah (n° 2051), *aïn* situé à l'O. de Kebili, qui correspond à un de ces types et probablement au type turonien, a un tracé comparable (figu-

1. — Ces renseignements m'ont été très aimablement communiqués par mon collègue Ch. DOMERGUE qui se penche actuellement sur le problème hydrologique de cette région. Je l'en remercie cordialement.



re 45) et des  $r\%$  très sensiblement identiques à celles des eaux hamadiennes (Tabl. 63).

TABLEAU 62

Tableau comparatif des  $r\%$  dans les eaux de la Bordure septentrionale

| N° B.I.R.H.                       | DERJ<br>(n° 353) | GHADAMES<br>n° 370) | A. OUENNIN<br>(n° 494) | EL HASSI<br>(n° 495) | EL GOLLA<br>(n° 309) | EL AROUT<br>(n° 292) |
|-----------------------------------|------------------|---------------------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $r\%$ Ca.....                     | 18,3             | 18,9                | 20,1                   | 12                   | 16,3                 | 12,5                 |
| $r\%$ Mg.....                     | 16,6             | 13,9                | 12,6                   | 7,4                  | 5,4                  | 5,5                  |
| $r\%$ Na.....                     | 16               | 13,9                | 17,6                   | 29,6                 | 29,1                 | 27,7                 |
| TOTAL cations....                 | 50,9             | 46,7                | 50,3                   | 48                   | 50,8                 | 45,7                 |
| $r\%$ Cl.....                     | 15,5             | 13,9                | 17,6                   | 24                   | 26,4                 | 16,5                 |
| $r\%$ SO <sup>4</sup> .....       | 28,3             | 34,1                | 26,4                   | 20,3                 | 17,8                 | 18,6                 |
| $r\%$ CO <sup>3</sup> .....       | 6,3              | 5                   | 4,7                    | 6,3                  | 4,7                  | 7,2                  |
| TOTAL anions....                  | 49,9             | 53                  | 48,7                   | 50,6                 | 48,9                 | 42,3                 |
| Concentration en Equivalents..... | 60               | 79                  | 78,8                   | 54                   | 54,9                 | 28,9                 |

La cuvette du Grand Erg Oriental, inclinée du N. et du N.O., de l'Albien de Fort Flatters ou de la falaise turonienne de l'oued Souamakh et de Ghadamès (360 m.), vers le Nefzaoua (Kebili : 40 m.) ou vers le Chott Djerid, est donc la zone vers laquelle convergent, en définitive, les ressources hydrauliques du Crétacé supérieur.

Celles-ci ne bénéficient pas ou bénéficient dans une mesure pratiquement indéterminable et malgré le colmatage relatif des couches cénomaniennes, des systèmes subordonnés sur lesquels, en somme, elles « reposent » et qui siègent dans des étages inférieurs : Albien, Continental intercalaire ou Paléozoïque.



Il est possible qu'une partie des eaux crétacées passe outre au mouvement de rappel vers le N. impliqué par les pendages du flanc septentrional des Gargafs, et qu'elle alimente quelques puits qui se trouvent en contrebas, sur la bordure septentrionale de l'erg d'Oubari. Nous avons cependant vu que l'eau d'el Hassi a nettement les mêmes caractères que celle du Chati : son alimentation doit surtout, pour ne pas dire exclusivement, se faire à partir des Gargafs, de structure subhorizontale en cette région, qui vers l'E. reçoivent les ruissellements des massifs volcaniques : un écoulement est en effet possible vers l'O. et, plus au S., vers la dépression du Chott qui, en général, correspond au passage des plateaux gréseux à l'erg, et peut-être aussi vers le Chati.

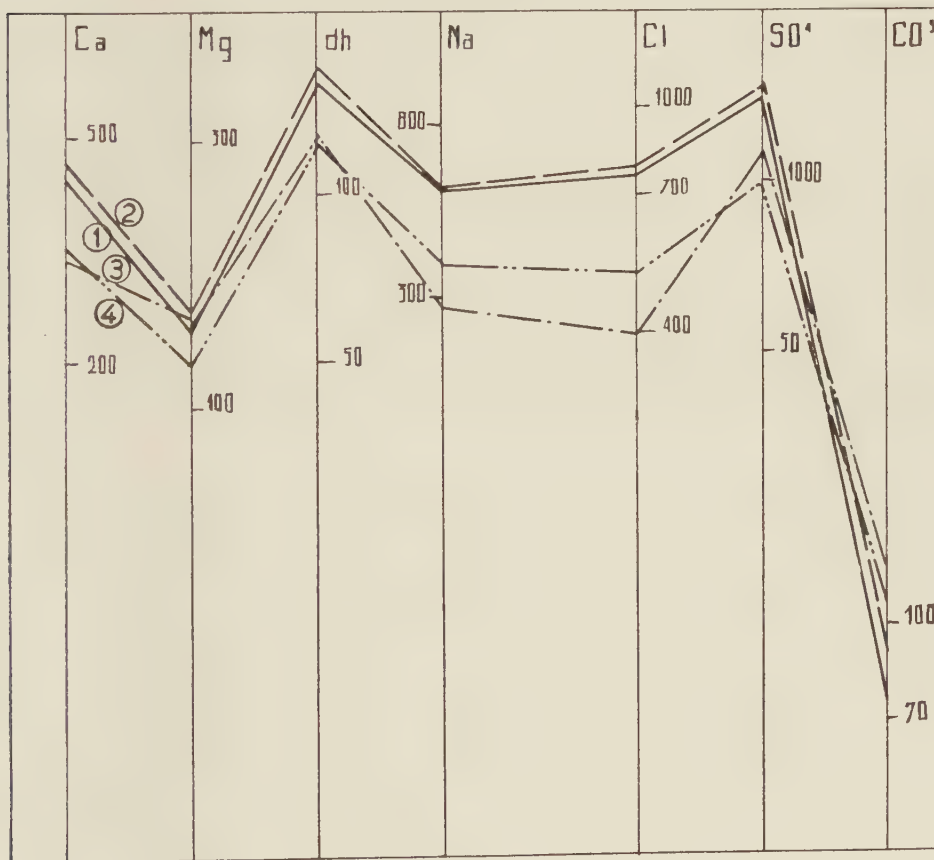


FIG. 45. — EAUX DE LA BORDURE SEPTENTRIONALE. DIAGRAMME LOGARITHMIQUE.

1 : 2051 b (Taouerrha). — 2 : 2051 a (Taouerrha). — 3 : 369 (Ghadamès). —  
4 : 494 (Aouinet-Ouennin).

TABLEAU 63

Tableau comparatif des analyses et r % d'eaux du Crétacé supérieur

| N° B.I.R.H.                               | Ca        | Mg        | Na        |                  | Cl        | SO <sup>4</sup>        | CO <sup>3</sup>        | R.S.            | Dh                                      | pH   |
|-------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------|------------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------------------|------|
| <i>Aïn Touerrha :</i><br>(2051)           |           |           |           |                  |           |                        |                        |                 |                                         |      |
| a).....                                   | 464       | 146       | 468       |                  | 800       | 1495                   | 90                     | 3470            | 172                                     | 7,2  |
| b).....                                   | 432       | 138       | 460       |                  | 781       | 1413                   | 72                     | 3660            | 161                                     | 7,6  |
| <i>Ghadamès :</i><br>(368)                | 308       | 142       | 287       |                  | 390       | 1154                   | 121                    | 2550            | 132                                     | 7,3  |
| <i>Aouinet - Ouen-<br/>nin :</i><br>(494) | 321       | 120       | 345       |                  | 515       | 994                    | 111                    | 2330            | 127                                     | 7,35 |
|                                           | r %<br>Ca | r %<br>Mg | r %<br>Na | TOTAL<br>cations | r %<br>Cl | r %<br>SO <sup>4</sup> | r %<br>CO <sup>3</sup> | TOTAL<br>anions | CONCEN-<br>TRATION<br>en<br>Equivalents |      |
| 2051.. .....                              | 20,4      | 11,1      | 18,6      | 50,1             | 19,5      | 27,9                   | 2,3                    | 49,7            | 7,5                                     |      |
| 494.. .....                               | 20,1      | 12,6      | 17,6      | 50,3             | 17,6      | 26,4                   | 4,7                    | 48,7            | 78,8                                    |      |

Le système du Crétacé supérieur est donc bien cantonné en dehors de la Cuvette fezzanaise qui seule nous intéresse; nous n'en parlerons donc plus, si ce n'est incidemment.

## CHAPITRE VIII

### HYDROLOGIE

Au cours des études régionales précédentes, nous n'avons fait que mettre en relief les caractéristiques des systèmes hydrauliques rencontrés sans chercher à les synthétiser.

Nous avons de la sorte constaté, d'une façon à peu près générale, la venue au jour d'eaux provenant de ressources qui dépassent les cadres régionaux auxquels nous nous étions limités. Entre autres arguments, la régularité et l'importance des venues d'eaux, indifférentes tant aux saisons qu'à la fréquence des précipitations, les structures et les caractères lithologiques favorables des terrains, impliquent, pour les systèmes successivement décrits, une envergure qu'il nous reste à définir.

Lorsque les systèmes hydrauliques et leurs comportements auront été précisés à l'échelle du Fezzan, nous pourrons étudier la mécanique hydrogéologique de leurs écoulements et de leurs alimentations, et leurs possibilités.

Avant d'aborder ces différentes questions, nous nous permettons cependant d'insister tout particulièrement sur deux points qui se dégagent des études régionales précédentes.

Il s'agit, d'une part, de la faiblesse remarquable et absolument générale des résidus secs des eaux du Fezzan qui indique, pour les sédiments réservoirs, qu'ils soient siluriens, dévoniens ou nubiens, des caractères lithologiques très compatibles avec ceux que nous avons imaginés pour cette immense zone de piedmont : zone des dépôts détritiques soumis à de grands lessivages en milieu probablement acide que les diverses surrections des bombements que nous connaissons, surrections contemporaines des premières phases d'orogénèse, rendirent possible jusqu'à la fin de l'Eocène.

Une telle minéralisation homogène des eaux peut également être la conséquence d'un fonctionnement très ancien des systèmes de la cuvette qui, pratiquement, est contemporaine des mouvements hercyniens : depuis cette

époque, à la suite des remaniements successifs des couches anciennes par les plus récentes, les sels minéraux des roches-magasins peuvent avoir été dissous et évacués hors de la cuvette jusqu'à la régression éocène; ils peuvent avoir été concentrés ensuite à la surface du sol, en conférant aux terrains superficiels, quel que soit leur âge, des caractères qui sont apparus tout au long des études régionales, dans les analyses des eaux : d'une façon générale les eaux provenant des terrains superficiels, qu'ils soient post-nubiens, nubiens ou paléozoïques, marquent une grande parenté chimique et, durant les concentrations, un enrichissement en ions  $\text{SO}_4$  et en ions alcalino-terreux (fait particulièrement net pour les eaux gothlandiennes). Dans le cas des eaux relativement très minéralisées, l'accroissement de salure se traduit par une augmentation normale de la teneur en ions Cl et Na. Il faut cependant préciser que ce que nous semblons énoncer comme une loi, est en fait soumis à des exceptions importantes (Serdeles, région des lacs, etc...) ou tout à fait limitées et multiples qui sont surtout liées à l'hétérogénéité de salure des terrains du Paléogène supérieur. Mais ces exceptions, en dehors du premier cas, ne parviennent généralement pas à masquer la parenté chimique de toutes ces eaux.

Il s'agit, d'autre part, de l'importance relative des faits considérés à l'échelle du Fezzan : nous avons vu, en effet, que des terrains réputés imperméables à l'échelle de la géologie et des structures des pays d'orogénèses intenses où des phases tectoniques se sont souvent surimposées peuvent, en fait, être perméables à l'échelle de la plate-forme saharienne où une forme structurale, un bassin, couvre une superficie identique à celle de la France. Les terrains schisteux fissurés, du Gothlandien sont, en fait, perméables, quoique très peu, puisqu'à travers l'écran qu'ils constituent, le système du Silurien inférieur peut se manifester avec ses propres caractères chimiques. Autrement dit, nous ne pourrions pas parler de systèmes hydrauliques totalement indépendants : tous sont plus ou moins liés, compte tenu de la surface énorme des couches dites imperméables dans lesquelles les probabilités de fissures ou de variations, même locales, de faciès, sont suffisantes pour expliquer un débit vers des couches poreuses supérieures.

## I.— Systèmes hydrauliques en présence

### 1° TERRAINS RECENTS (POST-CRETACES)

Nous ne comprenons pas dans ces terrains ceux de l'Eocène marin. Ces derniers, situés plus à l'E., peuvent être considérés comme extérieurs à la Cuvette fezzanaise.

Nous avons vu que, partout où un système hydraulique se manifestait dans des terrains du Paléogène supérieur ou postérieurs (Pl. XIV), que ce

soit dans le Zellaf (coupe 1), dans l'erg d'Oubari (coupe 2), dans l'ouadi Heutba, dans la Hofra (coupe 3) ou à Gatroun (coupe 5), nous avons toujours conclu qu'il s'agissait là de la manifestation d'un système qui avait son siège dans les terrains sous-jacents ou environnants, c'est-à-dire, dans la partie septentrionale du Zellaf, dans le Dinantien-Dévonien ou encore dans la partie septentrionale de l'erg d'Oubari, dans le Dévonien.

Les terrains récents sont, en d'autres termes, imprégnés par des eaux qui proviennent de terrains plus anciens. Leur percolation peut provoquer des variations de salure dans le sens de la concentration, souvent avec des dissolutions supplémentaires. Le mouvement dans le sens de la concentration est très généralement accompagné d'une augmentation de la teneur en ions  $\text{SO}_4$  et Ca ou Mg. Seule la région des lacs est le siège d'une évolution différente puisque, dans ce cas, les eaux sont surtout riches en ions  $\text{CO}_3$  et Ca. Mais dans l'ensemble, et c'est là un point remarquable, leur contact ne confère pas (sauf exception citée) aux eaux des caractères nettement différents de ceux de la roche magasin : ce sont globalement les mêmes surchargés d'anomalies locales.

Cependant, la traversée de ces terrains, dans leur ensemble assez colmatés, peut amener des pertes de charge en sorte que le niveau statique de la nappe se manifestant dans ceux-ci, peut n'être qu'apparent. Le niveau statique vrai est observable dans les couches à plus forte perméabilité des terrains anté-paléogènes environnants.

Ces conditions se rencontrent à Traghém et, avec une ampleur inférieure, dans le Bouanis (forage de Gorda) et dans l'ouadi el Ajal lorsque les puits ne sont pas foncés directement dans le Nubien, c'est-à-dire vers le Gharbi. En fait, nous ignorons si la présence des terrains marno-gréseux et calcaires ne provoque pas d'une façon à peu près générale un niveau statique apparent : ainsi pourrait-il en être vers la Cherguya, l'ouadi Heutba, la région de Gatroun et certaines régions du Zellaf et de l'erg d'Oubari.

Quoiqu'il en soit, ces terrains ne sont qu'imprégnés par un ou des systèmes qui les englobent, les débordent latéralement et ont leurs sièges dans les terrains environnants, d'âge variable, où nous les étudierons. Ils ne sont le siège d'aucun système hydraulique caractérisé. Les couches sableuses des ergs ne renferment pas non plus de nappe propre, au sens commun de ce terme, comme nous le verrons au chapitre de l'« Alimentation » (p. 283).

## 2° CRETACE SUPERIEUR

Nous avons déjà précisé, en partie, ce système (p. 266) que nous considérons comme extérieur à la cuvette structurale que nous appelons *Cuvette fezzanaise* et qui seule nous intéresse.



## 3° NUBIEN

Au fur et à mesure des études précédentes, nous avons déjà montré les rapports qui existaient entre les différentes régions étudiées dans ce que nous pourrions appeler le périmètre nubien. Tant sur le plan structural et lithologique que sur le plan chimique et dynamique, nous avons établi l'unité du système hydraulique qu'on y pouvait rencontrer : celui-ci s'étend latéralement de Tin Abunda à l'O. de l'ouadi el Ajal, à Oum el Abid à l'E. du Bouanis, de Tejerhe à Fort Leclerc, et en profondeur puisque ces différents points se trouvent à des niveaux différents de la série nubienne et que, dans l'ouadi el Ajal, cette série a, en somme, été explorée sur 450 m. (p. 194).

Toute la série nubienne nous apparaît donc comme étant le siège d'un système hydraulique de caractères chimiques et dynamique très homogènes.

## a) GÉNÉRALITÉS SUR LE COMPORTEMENT CHIMIQUE

A plusieurs reprises, on a pu constater qu'une concentration des eaux au contact des grès nubiens affleurant en surface, provoquait un accroissement de la teneur en ions  $\text{SO}_4$  et en ions alcalino-terreux (ouadi el Ajal, Cherguya) alors que le plus souvent on remarquait soit un mouvement de concentration régulier (fig. 20, 21, 22, 26, 31) ou un léger accroissement de la teneur en  $\text{Cl Na}$  (fig. 25, 28, 34). Il est possible qu'il y ait eu contamination chimique par migrations d'ions à partir des dépôts du Paléogène supérieur, voisins dans tous les cas (Gorda, n° 451; Majedoul, n°s 485, 486 et 487). Il est bon de noter cependant que, par rapport aux faits observés en surface, les premiers pompages effectués (crépines à 133 m. 50 de profondeur) dans le forage de Ghreifa (n° 523), ont eu pour effet un accroissement de la teneur en ions  $\text{SO}_4$  et  $\text{Mg}$  (fig. 24, 25, 26). Semblable effet a déjà été signalé dans le Chati lors de l'ouverture du forage de Douissa (n° 294). Il est possible de l'observer assez généralement dans des cas identiques. D'ordinaire, cet accroissement de teneur, qui se poursuit durant quelques mois suivant les débits, se résorbe ensuite. La teneur devient alors inférieure à ce qu'elle était initialement, mais par contre, il peut y avoir alors un accroissement de la teneur en ions  $\text{Cl}$  et, de façon presque toujours plus nette, en ions alcalins  $\text{Na} + \text{K}$  (Traghem n°s 321, 322, 323 et 491, Douissa et grands *aïoune* du Chati n°s 304, 305, 306 etc. — Tabl. 20 et 50, fig. 13, 32 et 33). L'accroissement mentionné des teneurs en ions  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Mg}$  ou  $\text{Ca}$  peut donc être également dû à un phénomène de concentration générale de ces ions vers la surface. Celle-ci se produirait à la suite de leur mobilisation créée par le mouvement ascendant dû aux débits des points d'eau ou de l'évaporation (on a noté la présence de 1/3 de 7,85 % de  $\text{SO}_4 \text{ Ca}$  dans une argile affleurant dans l'ouadi el Ajal, p. 213). L'affaiblissement de ces teneurs suivi de

l'accroissement des teneurs en ions Cl et surtout Na (Na + K), observé dans le cas des forages ou des *aïoune* après un certain temps, est moins directement compréhensible. Dans ces cas, l'eau a une provenance telle qu'elle est théoriquement à l'abri des influences de surface. Bien plus qu'un épuisement de  $\text{SO}_4 \text{ Ca}$  en profondeur, il est possible que des réactions secondaires du genre échanges de bases [116] soient à l'origine de ces changements dans la nature de la salure. La prédominance souvent nette d'ions alcalins (Na et K), par rapport aux ions Cl, pourrait signifier un contact et un échange ionique avec des argiles potassiques ou sodiques.

#### b) COMPORTEMENT DYNAMIQUE

La surface d'équilibre de la nappe d'eau imprégnant les grès nubiens, est inclinée dans son ensemble vers le N. et vers le N.E. (Pl. XVI). De Toummo (780 m.), à Gatroun (500-510 m.), Mourzouk et l'ouadi el Ajal (460-470 m.), on relève une pente moyenne très faible et décroissante vers le N. (entre Toummo et Gatroun, plus de 1 m/km; entre Gatroun et Oum el Abid, plus de 0,3 m/km).

Dans la partie septentrionale de la cuvette apparaît une composante vers l'E. qui provoque d'Oubari à Oum el Abid un enfoncement très faible de 0,20 m/km.

Il est vraisemblable que le très faible relèvement du niveau statique qui semble exister dans la région des lacs de l'erg d'Oubari par rapport à l'ouadi el Ajal, doit être imputé à l'imprécision des mesures barométriques effectuées dans cette région.

Vers l'E., au delà de T'messa (435 m.) et Oum el Abid (410 m.), nous ignorons ce que devient le système nubien qui se met hors de portée puisqu'aucun point d'eau n'existe dans ces régions. Il serait important de connaître quelques valeurs du niveau statique au delà de ces villages. D'une part, la topographie s'abaisse, en effet, d'après la carte au 1/1.000.000<sup>e</sup> à des altitudes inférieures à 200 m. D'autre part, l'interposition des couches argileuses compactes et d'alternances de marnes et de calcaires de l'Eocène moyen entre le Nubien et la surface du sol (Pl. XII, coupe 4), pourrait maintenir captif le système nubien, répétant ainsi, en plus grand, ce qui se passe à Traghem. De la sorte, en des points convenables, des sondages pourraient peut être permettre à un système, s'il est maintenu captif, de se manifester de façon artésienne.

#### c) EN RÉSUMÉ :

D'un bout à l'autre de la cuvette nubienne et sur toute la hauteur de la série, existe un système hydraulique chimiquement homogène.

La surface d'équilibre est inclinée vers le N. et vers le N.E. comme l'est globalement la topographie (Pl. XVI).

Il est possible que, vers le centre de la cuvette ou plutôt sur l'axe de la gouttière structurale, les couches de base aient une capacité spécifique plus intéressante, voire même un niveau statique plus élevé. Un sondage situé entre Traghem et Mourzouk, destiné à reconnaître les possibilités des couches de base du Nubien, pourrait alors donner des résultats extrêmement intéressants sur le comportement dynamique du système nubien à ce niveau.

Il est bon de répéter que l'utilisation optima de renseignements, demeurera illusoire tant que les mesures altimétriques ne seront pas elles-mêmes plus précises et généralisées.

#### 4° LE DEVONIEN-DINANTIEN

Nous savons que ces systèmes affleurent dans le Chati et les Gargafts, dans le Zegher, vers Serdeles, suivant une bande orientée sensiblement N.-S. sur la bordure sud-orientale du djebel ben Guenemma et entre le Fezzan et le Tibesti.

a) VERS LE N., nous avons déjà établi l'unité et défini les caractères du système hydraulique qui se manifeste de el Hassi à Brak, et au delà : celui-ci doit avoir son siège dans les couches du Dévonien. Il se manifeste à peu près librement dans le Chati occidental où le Dévonien affleure; il est possible qu'il se manifeste librement, telle une nappe phréatique dans la région du Chott (la carte au 1/1.000.000° y signale, à tort ou à raison, la cote 405 et même 425). Dans le Chati oriental, le système est captif dans différents niveaux poreux du Tournaisien où il se manifeste sous forme de nappes captives empilées. La traversée successive des couches argileuses fissurées des alternances du Tournaisien, provoque des pertes de charge. Celles-ci écartent, pour une altitude donnée, toutes possibilités d'artésianisme dans les régions où affleurent des niveaux de plus en plus élevés au dessus du Dévonien.

Du fait que, nous ne pouvons observer qu'un niveau statique apparent et irrégulier, nous ne pouvons pas tracer de courbes isopiézométriques précises (Pl. XVI) : tout au plus peut-on imaginer que celles-ci sont, dans le Chati, sensiblement parallèles à la direction structurale sans pouvoir dire dans quelle mesure cette disposition est due à l'écoulement d'une nappe provenant des Gargafts vers la périphérie de cette contrée sauvage (vers le Chati, le Chott et el Hassi) ou à la réapparition des ressources plus lointaines qui occuperaient la masse énorme des grès dévoniens. L'absence d'eau dans les Gargafts, alors que les recherches ont amené à foncer des puits de 30 et 40 m, en des points choisis, amène à considérer la seconde solution comme

étant la bonne. En réalité l'alimentation du système dévonien doit procéder des deux solutions avec prépondérance de la seconde.

Nous avons signalé les convergences de caractères qui se présentaient entre les eaux dévoniennes et les eaux nubiennes. Celles-ci sont structuralement séparées par la série peu perméable, mais rappelons-le, fissurée du Dinantien. En fait, les temps géologiques aidant, les diffusions ioniques à travers ces couches ont tendu à leur faire perdre tout caractère propre de salure, marin entre autre : retenons cependant la teneur relativement plus forte au Chati en ions Cl et alcalins. Les eaux de puits ou *aïoune* à faibles débits, indiquent un accroissement de la concentration en ions  $\text{SO}_4$  et alcalino-terreux dans les zones superficielles, comme cela a déjà été mentionné à propos du système nubien.

La surface piézométrique s'abaisse sensiblement du S. vers le N., de la région des lacs (460 m.) vers le Chati (390-400 m.) avec, pour intermédiaires, les puits de Ouen-Arab (390 m.) et Ouen-Titi (386 m.) : la surface d'équilibre du système nubien, subhorizontale vers l'ouadi el Ajal et la région des lacs, est assez nettement inclinée vers la bordure septentrionale de cette région, au S. d'Edri (passage de 460 à 390 m. d'altitude en 50 km. à peine, soit une pente de 1,40 m/km correspondant probablement à la présence de la série tournaissienne moins perméable que celles qui l'encadrent, nubiennes et dévoniennes). Plus à l'E., elle serait inclinée vers le N. ou le N.N.O. puisque Oum el Abid (440 m.) est sur le même parallèle que Brak (370 m.). Il faut cependant noter que nous pensons qu'à Brak, le niveau statique vrai du système dévonien doit être voisin de 400 m. Ceci donne aux courbes une homogénéité globale nette d'un bout à l'autre du Chati.

b) VERS LE N.O., dans le Zegher, A. CORNET pense [29, 30] qu'au puits de Timenocaline, le niveau statique est voisin de 460-470 m., donc du même ordre que celui de la région des lacs de l'ouadi el Ajal.

c) VERS l'O., un système hydraulique se manifeste dans des couches qui peuvent parfaitement être racordées structuralement et lithologiquement aux affleurements précédents.

Le niveau statique en est cependant plus élevé (630 m.). Un écoulement est possible de cette zone vers Edri : la perte de charge est faible, de l'ordre de 0,50 m/km (130 m. environ pour 300 km.); tout en effet porte à croire que la surface piézométrique, vers Serdeles est inclinée vers le N.E.

Comme vers le Chati, il apparaît, à ne comparer que les tracés des eaux de Serdeles fortement influencées par les dépôts de sels superficiels, et ceux des sondages de Gorda et de Ghreifa (fig. 42) qui touchent, sinon la base de la série nubienne, au moins des couches qui n'en sont pas éloignées,



qu'une parenté existe entre ceux-ci (p. 263). Comme il a été dit en plusieurs occasions, une circulation est possible d'un système vers l'autre : la faiblesse des Concentrations ou Equivalents de toutes ces eaux, est un élément qui facilite cette façon de voir.

d) VERS LE S.E., nous n'avons aucun renseignement sur le système qui a son siège dans le Dévonien. Des observations vers Mabrous, situé entre le plateau de Tchigai et de Djado, et Lucri, par exemple, seraient très précieuses pour étudier le comportement de la surface piézométrique dans le Dévonien sud-oriental.

EN RÉSUMÉ, il est probable que le système hydraulique qui se manifeste dans le Chati est alimenté par des ressources qui proviennent, pour une part probablement très faible, des Gargafs et surtout de régions lointaines par écoulement du S. ou du S.O. Semblable écoulement apparaît dans l'étude piézométrique de la nappe; les courbes présentent une continuité parfaite entre les systèmes nubiens et dévoniens. Ceci se traduit par les identités de salure des eaux tant vers le N. que vers Serdeles. Dans cette région, la surface de la nappe semble bien inclinée vers le N.E., vers la zone d'émergence que constitue le Chati.

### 5° LE SILURIEN

Nous savons que, vers le S., à la série poreuse du Cambro-silurien, s'ajoute celle du Dévonien. Vers le N. et plus particulièrement vers l'O., cette série gréseuse est interrompue par l'épisode marin et schisteux du Gothlandien qui affleure dans l'oued Tanezzouft, le Tihemboka et au N.O. d'Edri. Si bien que dans ces directions, on rencontre un système silurien inférieur individualisé, séparé du système dévonien par la série des schistes à Graptolites qui est fissurée. Vers le N., un tel système existe peut être sous les schistes à *Monograptus* d'Edri.

#### a) VERS L'O.

Le système hydraulique du Cambro-silurien se manifeste vers Ghat, sur la rive gauche de l'oued Tanezzouft. Il se manifeste également dans le Tihemboka à travers les argiles gothlandiennes dont affleurent des niveaux assez élevés. En cette région, le niveau statique apparent est sensiblement voisin de celui de Serdeles. Ce qui corrobore notre pensée, selon laquelle le système qui se manifeste vers Ghat dans le Silurien inférieur doit diffuser dans celui du Dévonien de Serdeles. Au S., vers In Ezzan, ces systèmes peuvent s'unifier. Nous n'avons aucun renseignement sur la surface piézométrique.

L'écoulement de la nappe du Silurien doit donc s'effectuer vers l'Est et vers le N. On lui prête une ampleur considérable : grande superficie de



l'impluvium, grandes réserves d'eau, volume important au dessus du niveau topographique moyen, niveau décroissant d'ailleurs vers le N.E. du territoire voisin.

#### b) VERS LE S.S.E.

Nous n'avons aucune idée de l'hydrologie des couches de même âge qui constituent le secteur Nord-Ouest de la couverture sédimentaire du massif du Tibesti. Nous ne savons d'ailleurs pas exactement quelle part de ce secteur est orientée vers le Fezzan.

### 6° CONCLUSION

Il ressort des études précédentes que le bassin structural fezzanais est occupé, au N. du parallèle de Ghat vers l'O., et probablement dans sa partie septentrionale, dans les régions de Serdeles et du Chati, par trois systèmes hydrauliques : nubien, dévonien et silurien inférieur, et dans sa partie méridionale par deux systèmes hydrauliques : nubien et dévonien-silurien, ce dernier semblant très important.

Les caractères chimiques de ces différents systèmes sont très voisins; les eaux sont remarquablement peu chargées. Les passages de l'un à l'autre système ne sont marqués par aucune variation brusque de la surface d'équilibre. Tout ceci semble impliquer des possibilités de diffusion entre ces différents systèmes par les réseaux de fissuration des systèmes ou étages peu « perméables » du Gothlandien inférieur et du Dinantien.

Dans le Nubien, on relève un écoulement vers le goulet du sérir el Gattousa. De plus, l'étude des courbes isopiézométriques semble indiquer qu'un mouvement d'écoulement existe également vers le N., vers la zone d'ensellement du Zegher entre Gargafs et Tassili. Dans le Dévonien, l'écoulement est plus difficile à préciser du fait que nous n'avons que des niveaux statiques apparents; il semble, toutefois, qu'il existe vers le N.E. et le N.

Ces directions sont celles dans lesquelles les eaux s'enfoncent en profondeur, soit à la suite du colmatage des couches de surface, soit plus probablement du fait de l'écoulement des systèmes vers des zones perméables plus profondes.

Les systèmes, schématisés à l'extrême, donneraient les résultats consignés sur la Pl. XVII (fig. 1 et 2). On y voit immédiatement les régions qui président à la diffusion d'un système dans l'autre; d'une part, dans les parties méridionale et occidentale, le système nubien voit prédominer les caractéristiques du système inférieur qui, en charge, « s'écoule » en partie en lui; d'autre part, dans les parties septentrionale et orientale, le système nubien tendrait à s'écouler dans le système inférieur car il est à

son tour en charge par rapport au système dévonien : d'où probablement l'abaissement net du niveau statique au delà de T'messa-Oum el Abid vers l'E. et vers le N. quoique dans cette direction un apport soit encore possible venant des Gargafs.

Et l'on voit qu'il est indispensable pour relier les différents tronçons connus de la Cuvette fezzanaise et pour avoir une idée plus précise de l'allure de la surface piézométrique des systèmes hydrauliques siégeant dans les séries poreuses inférieures d'où, en définitive, semble provenir une grande partie des ressources hydrauliques du Fezzan, d'étudier les régions situées à l'O. et au S. de ce territoire, d'autant qu'on ignore à partir de quelle limite les ressources hydrauliques recueillies sur les pentes occidentales du Tibesti, dans les monts de Toummo et le Mangueni, se dirigent vers la Cuvette fezzanaise d'une part et vers la Cuvette de Bilma d'autre part. Il est probable que cette limite se trouve vers la digitation du Dinantien qui, au S. de Toummo<sup>1</sup> marque la limite structurale, vers le S., de la cuvette étudiée (p. 51).

On pourrait concevoir à la limite que les eaux qui se trouvent dans les couches supérieures, nubiennes, y parviennent par un lent débit à travers les terrains très peu poreux qui leur sont inférieurs et que, par suite de la pluviométrie plus élevée en bordure qu'au centre, ce mode d'écoulement corresponde à la quasi-totalité de l'alimentation du Nubien. Les propositions ne peuvent plus être gardées entre ce que nous avons coutume d'étudier et les surfaces considérables de ces terrains dits, à l'échelle ordinaire, imperméables. Il est d'ailleurs vrai que la notion d'imperméabilité subsiste si l'on considère le rapport du débit total en surface, débit qui est faible, à la superficie énorme de ces voiles. En fait, il convient d'admettre que les séries les moins perméables agissent en tampon entre les systèmes hydrauliques voisins et qu'elles permettent l'établissement d'une surface piézométrique moyenne correspondant à une sorte de moyenne arithmétique entre les surfaces piézométriques propres à chacun des systèmes. A leur affleurement correspondant une faible augmentation de la pente de cette surface piézométrique résultante.

Si bien, qu'en définitive, nous pouvons parler, à propos de la Cuvette fezzanaise, d'un immense système fezzanais dont les horizons aquifères inférieurs doivent être susceptibles de donner de l'eau artésienne en des points convenables choisis dans les quarts occidentaux et sud-orientaux, et dont les horizons aquifères supérieurs auront le niveau statique le plus élevé dans les quarts septentrionaux et orientaux.

---

1. — Suivant la trace de cette limite, la carte au 1/100.000<sup>e</sup> de Djado, NF33 porte l'inscription « *Ligne de partage des eaux* ».

Il y a au Chati une particularité : la topographie et la structure locales sont telles qu'un artésianisme peut se manifester; mais le niveau statique reste inférieur à celui qu'on a pu observer dans le Nubien voisin (ouadi el Ajal ou erg d'Oubari).

Nous ignorons tout de l'hydrologie des couches inférieures au Gothlandien argileux vers le Chati. Dans quelle mesure le système hydraulique du Silurien inférieur pourrait-il donner de l'eau artésienne ou de niveau statique supérieur à celui du système dévonien ? Les éléments manquent pour formuler une réponse. Si on doit étendre la notion observée de dégression progressive de niveaux statiques vers le N., du système nubien au système dévonien, puis au système silurien inférieur, on est amené à proposer une réponse négative d'autant que l'absence d'indices d'eau semble totale dans une zone où une fissuration du toit imperméable gothlandien aurait pu se produire et permettre des « fuites » vers la surface à la manière de ce qui se passe dans le Tihemboka.

## II. — Alimentation. — Débit

Nous nous trouvons donc devant une cuvette de diamètre inaccoutumé, relevée vers l'O. et apparemment non fermée vers l'E. (Pl. XVI). Elle nous apparaît comme étant entièrement imprégnée et occupée en profondeur par des systèmes hydrauliques dont les surfaces d'équilibre sont inclinées vers le N. et le N.E.

Nous avons constaté que ces systèmes étaient en communication, diffusant l'un dans l'autre. Si bien que le système fezzanais résultant peut bénéficier au total de n'importe quelle quantité d'eau tombant dans le périmètre de la Cuvette fezzanaise et parvenant à un des systèmes le constituant.

C'est ce système qui fait vivre tout le Fezzan.

### 1° ALIMENTATION

Nous venons d'essayer de nous faire une idée, très schématique, il est vrai, et imparfaite, de son comportement dynamique. La question qui se pose maintenant est d'essayer de connaître le mécanisme de l'entretien ou de l'alimentation de ces réserves hydrauliques qui sont considérables.

L'étude de la pluviométrie doit nous fournir la quantité d'eau globale qui parvient au sol du Fezzan.

Or, nous avons déjà signalé combien sont vagues les données pluviométriques (p. 16) et comment quelques années exceptionnelles peuvent rele-

ver une moyenne qui, portant sur une période moins heureuse, serait très faible. Les courbes isohyètes qui passent sur le territoire sont de 5 à 10 mm. atteignant exceptionnellement 20 mm. et plus sur les zones à partir desquelles s'effectuent les écoulements ; si ces valeurs constituent, à nos yeux, des minima certains, nous rappelons que les moyennes vraies peuvent leur être de deux à cinq fois supérieures (p. 17). En sorte que la quantité d'eau dont bénéficient les 450.000 kilomètres carrés du Fezzan, peut varier, suivant les avis, du simple au double ou même au quintuple.

L'étude de la quantité d'eau de pluie qui parvient à la nappe n'est guère plus précise. Il ressort de l'expérience tunisienne provenant de l'observation météorologique de plusieurs dizaines d'années, de l'observation par le B.I.R.H. d'une grande quantité de points d'eau et d'oueds et de recherches expérimentales, que seules les pluies torrentielles participent à l'alimentation d'une nappe par infiltration.

Les précipitations soudaines et abondantes qui sont d'ordinaire le propre du climat saharien, sont donc favorables à l'infiltration, de même que l'absence quasi-absolue de végétation en dehors des points habités. Mais il est évident que la sécheresse qui règne et la granulométrie très forte des parties superficielles qui recouvrent les sols, qu'il s'agisse de sérirs, de hamadas ou d'ergs, constituent des facteurs très favorables à l'évaporation qui peut venir annuler l'infiltration précédente.

L'eau qui s'infiltre se décompose, en effet, en deux catégories : l'eau de rétention qui ne s'écoule par gravité que fort lentement et peut être reprise par hygroscopie et par la végétation lorsqu'elle existe, — et celle-ci apparaît très rapidement après une pluie, — et l'eau d'imprégnation ou de percolation qui peut parvenir à la nappe et qui l'atteint ou ne l'atteint pas suivant la distance à parcourir et la quantité d'eau de rétention, que, comme un tribut, elle laisse sur le parcours. En d'autres termes, une pluie, même importante, a d'autant moins de chances d'atteindre une nappe à travers des terrains perméables en petit et non « mouillés » encore d'eau de rétention que celle-ci est éloignée de la surface topographique moyenne de la région intéressée. Un calcul simple indique que 25 mm. d'eau qui s'infiltrent dans des grès d'une porosité de 30 à 35 %, suffisent à peine à « mouiller » une tranche de un mètre de terrain ou à imprégner à saturation à peine quelques dizaines de centimètres de celui-ci.

Nous nous sommes ainsi trouvés en avril 1948 dans l'erg d'Oubari dans une région de dunes, sitôt après une précipitation d'environ de 40 mm.<sup>1</sup>. Nous avons pu constater que les traces de ruissellement, en ces terrains

1. — Dans la Sebha et l'ouadi el Ajal, celle-ci fut plus importante ; à la Station Météorologique de Fort Leclerc, 75 mm. ont été enregistrés.



très poreux, étaient nulles<sup>1</sup>. Le lendemain de cette chute d'eau, à Ouen-Arab, une tranche de 0 m. 50 à peine de terrains était mouillée et susceptible de donner quelques suintements; sous cette tranche le sable était sec sur environ 0 m. 40; enfin à 0 m. 80, la nappe que nous connaissons fut atteinte après une brève zone humide de 0 m. 25, donnant de l'eau qu'il fallut évacuer par puisage avant d'emplir les *guerbas* : le *targui* qui nous accompagnait commenta le fait en disant qu'une telle tranche d'humidité suffirait à faire naître et entretenir des pâturages à chameaux durant quatre à six mois environ.

Si bien que la possibilité d'une nappe autonome dans les dunes ne peut être retenue : simplement, dans les bas-fonds et ouadis, lors des grandes pluies, la tranche mouillée peut atteindre la nappe sous-jacente pour laquelle d'ailleurs l'apport doit rester négligeable car il n'y a pratiquement pas de ruissellement.

En dehors des régions d'oasis, la nappe est donc à une profondeur trop grande pour être atteinte par une simple infiltration sur place : témoins les puits et gueltas du Messak qui restent en eaux cinq ou six mois après une pluie et s'assèchent. Si l'eau descendait par gravité, il suffirait de les approfondir pour la retrouver; les résultats de l'expérience de toutes les générations passées de nomades trahissent l'inutilité d'une telle opération. Le puits d'Abatoul (p. 223) profond de 45 m. s'inscrit en intermédiaire entre l'ouadi Heulba et les régions où la nappe est trop éloignée de la topographie pour être atteinte, et les pluies insuffisantes pour que l'eau puisse gagner celle-ci par percolation sur place. Il faut donc admettre que, pratiquement en aucun cas, l'eau s'infiltrant sur place n'atteint une nappe en constituant de la sorte son alimentation.

Par contre, il en est autrement des eaux de ruissellement qui s'accumulent en grandes quantités, même pour des précipitations peu abondantes : les ruissellements concentrent les eaux tombés sur des terrains peu perméables où elles disparaissent. Il est impossible d'assimiler le volume de l'eau ainsi accumulée à une « hauteur » de précipitation; quelques mètres-cubes viennent se présenter là où une forte pluie aurait à peine mouillé un mètre environ de terrain.

Les eaux de ruissellement s'infiltreront d'ailleurs d'autant plus vite qu'elles tendent à gagner des zones de prédilection à porosités maxima où elles disparaissent plus rapidement. Ces zones d'infiltration peuvent varier après quelques pluies : en effet, les fines particules peuvent colmater peu à peu les zones superficielles; les eaux de ruissellement vont alors s'infiltrer ail-

1. — Par contre, la plupart des pistes du Fezzan central ont été endommagées par les ruissellements qui se sont produits et dont on pouvait relever des traces souvent très importantes, mêmes en terrains peu inclinés comme la hamada de Mourzouk et le sérir El Gattousa.



leurs. On saisit sur le fait mais à un rythme très lent, le processus de formation des lentilles ou variations rapides de faciès en terrains d'origine continentale.

La proportion d'eau de rétention prélevée sur de telles masses, constitue une part peu importante et qui ne doit pas annuler la possibilité d'une infiltration profonde : d'autant que cette eau s'écoulant très lentement par rapport à l'eau de percolation, peut persister d'une pluie à une autre. De la sorte, des masses d'eau en ruisselant, viennent s'infiltrer quelques temps aux mêmes endroits là où, schématiquement parlant, une colonne humide peut persister établissant la liaison entre le sol et la nappe.

Mais si ce mode de percolation en masse, en des endroits privilégiés, est le seul qui participe à l'entretien des ressources hydrauliques du Fezzan, il s'avère impossible d'établir le rapport qui existe entre le volume d'eau précipité et le volume d'eau regroupé par ruissellement.

Le choix d'un pourcentage moyen pour tout le territoire serait illusoire. D'autant que la présence d'accidents inobservés dans des régions de fortes pluviométries peut apporter des éléments nouveaux inappréciables : telles des cassures, peut-être des failles importantes, des dykes etc... qui peuvent constituer des véritables « conduites » du sol vers les nappes.

L'évaluation simple du cubage des réserves qui se trouvent dans le bassin, est sans intérêt, et d'ailleurs, devant tenir compte de la forme et de la flèche de la cuvette qui nous est inconnue, et de porosité (16 à 40 %) et rétention (10 à 20 %) moyennes arbitraires, donnerait un chiffre inutilisable : nous ne serons guère plus satisfaits et difficilement contredits lorsque nous aurons évalué le « contenu » de la cuvette fezzanaise au chiffre de 10 à 20.000 km<sup>3</sup> ou 1 à 2. 10<sup>16</sup> litres d'eau excellente.

Nous voyons que le problème n'est pas facile; en nos pays tempérés, les données sont encore succinctes, et bien souvent, à la période d'observations. Rien d'étonnant alors qu'au Sahara nous soyons en plein domaine de l'hypothèse : quel que soit le sujet étudié, nous venons de voir que nous nous heurtons constamment à l'inconnu et à l'obligation de travailler avec une suite de « moyennes », en sorte que les erreurs peuvent s'ajouter et que les résultats ne peuvent même plus donner un ordre de grandeur.

Il faut seulement retenir que l'alimentation peut s'effectuer avec des intensités diverses, en tous les points où il pleut et où des ruissellements importants sont possible : d'où particulièrement dans les zones de relief (Tassili, Akakous, Tadrart, Messak, Tibesti, Gargafs, etc...) et de pluviométrie élevée. Nous ne connaissons cependant pas la superficie du secteur du Tibesti cristallin ou sédimentaire, pas plus que celle du secteur du Tassili

des Ajjer, ni celle des Gargafs qui apportent leur concours au système fezzanais.

Et, au total, compte tenu de l'énormité du volume d'eau en présence duquel nous nous trouvons, il n'est plus question, comme dans les régions pauvres d'Afrique du Nord, de favoriser l'infiltration par des barrages ou des levées de terre. En comptant qu'un élément nouveau dans l'équilibre du système se transmette dans la masse imprégnée d'eau avec une vitesse moyenne de propagation de l'ordre de 0 m. 50 à 1 m. par jour à partir d'une région d'alimentation, il faudrait, théoriquement, à celui-ci environ 15 à 30 siècles avant de le voir se manifester au Chati par exemple : encore faudrait-il que la mesure soit générale et concerne un volume d'eau qui, au regard du volume total débité, ne soit pas négligeable. On conçoit l'impossibilité d'une telle entreprise dans les conditions actuelles.

Il est donc probable que le système fezzanais est actuellement en état d'équilibre, autrement dit qu'il ne puise pas sur des réserves fossiles accumulées depuis des millénaires et non renouvelées : le débit de ce système correspond à son alimentation, car l'équilibre a eu le temps de s'établir depuis l'installation du climat actuel qui, depuis au moins vingt-cinq siècles ne paraît pas avoir changé<sup>1</sup>.

## 2° DEBIT

Pas plus débits qu'alimentation ne peuvent être calculés ; le débit approximatif calculé pour le Chati (environ 2 m<sup>3</sup>/sec ; p. 165), peut être étendu au Fezzan tout entier en considérant cette région comme égale en importance humaine ou économique, au quart du territoire. Le débit de surface du système fezzanais serait donc de l'ordre d'une dizaine de m<sup>3</sup>/sec. ce qui ne nous précise pas la part qui se perd en profondeur et dont bénéficient les systèmes voisins.

Cela ne veut pas dire que cet équilibre n'ait jamais varié : si le climat n'a pratiquement pas changé depuis ces derniers millénaires, il y a eu des périodes très humides au cours desquelles le niveau statique s'est relevé en sorte que tout ou partie du territoire a été recouvert d'eaux ; il est à ce propos significatif que les formations de calcaires et marnes gréseuses du Paléogène supérieur se trouvent à une altitude moyenne qui est inclinée

---

1. — Stéphane GSELL [67] dans une étude détaillée, appuyée sur divers arguments scientifique et sur des textes très anciens, démontre que le climat du Sahara était tel qu'il est actuellement au moins dès la moitié du premier millénaire avant l'ère chrétienne. Il constate cependant, dans les récits les plus anciens, des allusions ou des contradictions qui font penser qu'alors l'humidité y était en régression. Par exemple, les Guaramantes se déplaçaient à cheval entre les diverses contrées du Fezzan et celle de Tripolitaine. D'après ce que nous savons, seul OVIDE dans ses *Métamorphoses* [II, IV, 25] fait allusion à l'installation de l'aridité en Libye : la disparition de toute humidité, dans cette contrée est antérieure à l'apparition de la légende grecque. Elle est liée, en effet, aux événements et cataclysmes qui ont été provoqués par Phaëton, fils du Soleil...

dans le même sens que la surface piézométrique du système fezzanais : 480 à Majedoul, 460 dans la Cherguya, 440 à Fort-Leclerc, 400 au Chati. A Gatrour, ces formations ont été érodées et recouvertes lors d'une période humide quaternaire qui est à l'origine de la constitution de différents sols croûteux que nous avons déjà signalés. Nous avons par ailleurs mentionné, dans l'ouadi el Ajal, des dépôts tourbeux à un niveau légèrement supérieur au niveau statique actuel (p. 186).

En un mot, il est impossible de chiffrer l'alimentation, le débit et les réserves du Fezzan : on peut cependant inférer de nos constatations précédentes, que l'alimentation égale les débits superficiels et souterrains (vers l'E. ou le N.) et que le système fezzanais se trouve de la sorte équilibré. Ainsi, les prélèvements n'auront pas pour limites les possibilités du système, qui sont énormes, ni son alimentation car leur part, excès compris, est négligeable auprès de toute l'eau qui se perd par évaporation dans les lacs, les sebkhras, etc..., et par diffusion lointaine; ils auront bien plus pour limites les conditions locales elles-mêmes, comme nous allons le préciser maintenant.

### III. — Conclusions — Captages — Exploitations Reconnaissances

De nos études précédentes ressortent un certain nombre de constatations que nous allons résumer. Nous verrons les conclusions auxquelles elles mènent dans le domaine des captages avant d'aborder la question de l'exploitation et de la reconnaissance du système fezzanais.

a) L'étendue et la régularité structurale du sujet géologique qui nous intéresse, font que celui-ci n'est plus comparable avec le bassin parisien, par exemple, ou avec tel autre des bassins de grande étendue de l'Afrique du Nord.

Il faut donc nous départir de quelques-unes des préoccupations classiques qui nous arrêtaient en temps ordinaire et considérer que le souci de la préservation des réserves et de tendre à identifier les prélèvements aux possibilités, sont illusoires; ceux-ci sont en effet négligeables en face du volant hydraulique considérable devant lequel nous nous trouvons : la seule préoccupation traditionnelle, inhérente aux pays désertiques et qui fait de l'eau un produit précieux, sera suffisante. D'autant que nous avons déjà constaté que la seule considération de la sauvegarde des sols implique un dosage rigoureux des irrigations et par conséquent la nécessité de pouvoir réduire un débit en fonction du besoin du moment. Ceci se traduit dès à présent, par la possibilité, en utilisant mieux l'eau, d'irriguer une superficie plus grande avec les quantités qui sont actuellement débitées, en particulier au Chati.

b) Le bassin fezzanais nous apparaît comme étant imprégné, depuis les couches de sa base jusqu'à celles de son sommet, par des eaux très faiblement minéralisées et dont les caractères chimiques sont très homogènes. Elles constituent les nappes qui composent le système fezzanais.

La régularité structurale de ce bassin a pour effet de pouvoir étendre les résultats de quelques sondages à grande profondeur (1.500 à 2.000 m.) à tout le territoire qui, rappelons-le pour souligner l'opposition, a une superficie qui s'approche de celle de la France.

c) L'alimentation de ce système se fait uniquement à partir des eaux de ruissellement, dans une proportion qui, par rapport aux volumes d'eau dûs aux précipitations, nous est inconnue : il est certain cependant que les réserves sont énormes et doivent correspondre à l'accumulation des eaux au débit actuel, pendant plusieurs milliers d'années. Si l'alimentation diminue ou si les prélèvements s'accroissent, il est probable que le système hydraulique fezzanais ne trahira pas de fléchissement observable avant deux ou trois générations. Si un tel fléchissement se produit, il devra être étudié très attentivement afin d'en préciser les répercussions qui pourront être profondes. Le bilan actuel se solde par ailleurs par des quantités importantes d'eau perdues par évaporation dans les lacs, les chotts, les sebkhras, ect...; il faut leur ajouter celles qui se perdent par percolation lointaine en profondeur vers l'E. et le N. de la cuvette : d'où l'intérêt de rechercher les points où celles-ci peuvent être captées avant leur perte définitive pour le Fezzan. Le Chati est un de ces points. Vers l'E., nous n'avons pas eu l'occasion d'étudier cette question; il est cependant fort possible que de l'eau nubienne reste captive sous les terrains éocènes et soit artésienne en des points propices.

Tout ceci ne veut pas dire qu'on peut puiser sans discernement dans ces ressources. En effet, une multiplication trop grande ou une mauvaise répartition des captages, peut provoquer localement une modification de la tenue dynamique d'une nappe : son niveau statique peut s'abaisser outre-mesure par la superposition des rabattements dont les effets seront sans doute peu lointains du fait que les terrains sont peu perméables.

#### 1° LES CAPTAGES EN GENERAL

Ceci nous amène à considérer les différents modes de captages utilisables au Fezzan avec le meilleur rendement, en ne perdant pas de vue que l'éloignement de ce territoire, de tout centre industriel et commercial, implique des conditions énergétiques qui sont différentes de celles des pays pourvus de ports ou de voies navigables : en 1949, le transport d'un kilo de matériel de Tunis à Fort-Leclerc, majorait de 50 francs le prix de celui-ci.



1. — La confection de *puits indigènes* peut être encouragée; ils ont cependant l'inconvénient de faire communiquer des nappes de niveaux statiques différents. C'est le cas en particulier, dans le Chati, le Bouanis et l'ouadi el Ajal, vers le Chergui. Dans le cas idéal, les puits de ces régions devraient être murés jusqu'au niveau de la couche exploitée.

2. — Dans le cas de *forages peu profonds*, tels que ceux du Chati ou de Traghém, destinés à percer les couches superficielles jusqu'à rencontrer une couche à niveau statique et débit spécifique plus élevés, le problème est le même; obligation d'abandonner le système de forage par le battage à sec, les nappes étant la plupart du temps artésiennes ou ascendantes. Nécessité de crépiner, de cimenter la base des tubes, d'employer des tôles d'acier qui ne soient pas susceptibles d'être prématurément percées et, surtout dans le cas de Traghém, de développer les puits avant utilisation pour les sauvegarder d'un ensablement rapide.

3. — Dans le cas de *forage à plus grandes profondeurs*, ce que nous avons dit précédemment demeure valable. Il y aura lieu, après les essais de déterminer les horizons dont le débit spécifique est le plus élevé et de les capter seuls. L'exemple de Ghreifa est éloquent : le débit spécifique du Chati varie, en puits non développés mais en débits artésiens, entre 1 et 2; à Ghreifa, en puits non développé et sans avoir atteint le régime optimum alors que le sable était remonté dans les crépines jusqu'à — 137 m. (crépines 6'' de — 133 m. 50 à — 150 m. 08), celui-ci s'avère supérieur à 2,8 et probablement à 3, valeur excellente qui s'apparente d'ores et déjà à celles des meilleures nappes tunisiennes.

4. — Un tel débit spécifique et la proximité du niveau statique, permettent d'envisager l'emploi à grande échelle de l'énergie éolienne<sup>1</sup> qui s'avère très utilisable (p. 15; jours de calme : 7 % à Fort-Leclerc et 0 % à Oubari). Un tel appareil mériterait d'être étudié pour le Fezzan : un pompage à 20 m. en puits développé en tubes de 12 pouces, doit pouvoir donner 10 à 15 litres/seconde dans le cas général si le puits est foncé en terrains nubiens ou plus anciens.

## 2° EXPLOITATION

Nous allons maintenant reprendre les différentes régions étudiées précédemment, et préciser quelques-uns des principes qui doivent présider à leur exploitation.

---

1. — Une éolienne a été étudiée pour la Tunisie; cet appareil dont le prix de revient est de 5.000.000 de francs, permet de pomper 15 l/sec. à 20 m. en tubes de 12 pouces.



## a) LE CHATI

Le débit spécifique moyen et le niveau statique auront des valeurs d'autant plus élevées que les horizons aquifères seront éloignés de la surface jusqu'à ce que la roche-magasin (les grès dévoniens) soit atteinte. D'autre part, les captages doivent être suffisamment éloignés les uns des autres pour que leurs interférences soient minima.

La faible densité de la population, et c'est le cas général de tout le Fezzan, s'accommodera de petits débits de l'ordre d'une quinzaine de l/sec. : il faudra donc munir chaque forage d'une vanne destinée à réduire ceux-ci au strict minimum. De tels débits doivent pouvoir être obtenus communément si les forages sont exécutés aux profondeurs habituelles (60 à 250 m. et peut être plus) et implantés à une cote voisine de 380 à 390 m.

Dans l'intérêt même du système hydraulique exploité, il y aurait lieu cependant de multiplier les forages à petits débits à la profondeur la plus grande. Ceci permettra de s'installer à des cotes plus élevées que celles que nous préconisons jusqu'à ce que le niveau statique et de débit spécifique vrais aient été repérés : lorsqu'ils le seront, un calcul simple donnera la cote à choisir pour obtenir un débit défini.

Il faudra tendre à ce que tous les captages exploitent à des profondeurs identiques afin qu'un captage voisin de quelques centaines de mètres d'un autre moins profond, ne stérilise pas ce dernier.

Nous ne pouvons fixer une limite au développement du nombre des captages; mais il semble que doubler le débit supposé de cette région (et cela permet déjà l'établissement d'un énorme programme) est un plafond à ne pas dépasser sans en avoir observé les conséquences durant plusieurs années, voire même plusieurs dizaines d'années.

En somme, il faudrait au Chati :

Un sondage de reconnaissance susceptible d'être transformé en un sondage d'exploitation.

Son but est de reconnaître la série du Chati et les caractéristiques des différents horizons aquifères qui le constituent. Il devra être implanté à Brak ou plus à l'E., au maximum à la cote 380 de façon à recouper la série sur toute son épaisseur et à pouvoir en généraliser les résultats aux villages voisins.

Il devra être poussé jusqu'à environ 300 à 350 m. pour pénétrer dans les grès dévoniens qui affleurent vers Edri.

Des sondages d'exploitation espacés (1 km. entre chaque captage) tenant compte des données du sondage précédent et calculés (cote d'implan-

tation) pour débiter une quinzaine de l/sec. de façon à ce que la vanne n'ait qu'un rôle secondaire à jouer.

#### b) LE BOUANIS, L'OUADI EL AJAL, LA RÉGION DE MAJEDOUL

En ces régions, le problème change, car les couches n'ont plus la continuité relative qu'elles avaient dans le Dinantien : de plus, les expériences de Gorda et Ghreifa montrent que dans les zones prospectées, seul le débit spécifique pourrait être amélioré.

Il ne faut pas compter sur de l'eau artésienne provenant d'un forage qui de la Sebha ou de la région d'Oubari, atteindrait le Dinantien ou le Dévonien. Le toit du Paléozoïque est d'ailleurs situé à une profondeur problématique en ces points : probablement 4 à 500 m. et plus vers Majedoul (600 à 800 m.); dans ce dernier cas d'ailleurs, nous ignorons tout de l'hydrologie du Dévonien vers le djebel ben Guenema oriental. La seule façon de développer l'exploitation des ressources hydrauliques de ces régions, est de forer des puits crépinés et développés, destinés à être équipés d'éoliennes et qui pourront être multipliés dans une très large mesure.

Il est à peu près certain que tous les forages entrepris dans ce but à des cotes convenables, voisines du niveau statique, seront productifs en ce sens qu'ils recouperont à des niveaux non prohibitifs, des horizons aquifères intéressants.

En somme, est particulièrement recommandée dans ces régions :

Une série de forages permettant d'exploiter par éoliennes l'horizon recoupé le plus intéressant pour chacun d'eux : ceux-ci devront être normalement tubés, crépinés, voire développés.

La limitation du nombre de forages résultera de l'importance de la dépense et des interférences dynamiques d'un forage sur l'autre.

#### c) LA RÉGION DE TRAGHEM

Nous ignorons en fait si les sondages exécutés jusqu'ici ont atteint le Nubien; il serait donc important d'aller chercher les ressources où elles se trouvent et d'être certains d'avoir pénétré dans les terrains de cet étage.

Les observations formulées à propos des précautions à prendre dans le Chati et dans les régions précédentes, sont valables ici : espacer les captages et s'adresser aux horizons de débit spécifique le plus élevé. Ceci à seule fin d'essayer d'améliorer les conditions de rendement dynamique et de pouvoir envisager l'implantation de forages en des points légèrement plus élevés, ouvrant de la sorte à l'irrigation des terrains moins salés que ne le sont ceux qui sont actuellement exploités en bordure des sebkhras.

En somme, il faudrait à Traghém :

Un sondage de reconnaissance susceptible d'être transformé en sondage d'exploitation.

Son but est de chercher à repérer la coupure Nubien-Paléogène supérieur et, dans le Nubien, les horizons dont le débit spécifique est le plus intéressant, et de les capter.

Sa profondeur d'investigation totale sera de l'ordre de 250 m. environ. Il devra être implanté au voisinage du niveau statique des puits et donnera un débit artésien, en puits développé, de débit spécifique probablement voisin de 3;

Des sondages d'exploitation espacés, tenant compte des données du sondage précédent et implantés à une cote telle qu'ils débitent une quinzaine de l/sec.

#### d) L'OUADI HEUTBA, HOFRA, CHERGUYA, GATROUN

Les terrains superficiels très colmatés de ces régions ne sont pas capables de débits spécifiques qui rendent intéressant l'emploi d'éoliennes. Les puits indigènes classiques peuvent être encouragés sans même avoir à craindre, comme dans le Bouanis et l'ouadi el Ajal, de mettre différentes nappes en relation, sauf peut-être vers Traghém et Tejerhe où les caractères lithologiques plus nets, peuvent contribuer à compartimenter le système mais avec une ampleur négligeable.

#### e) LES RÉGIONS DE SERDELES ET DE GHAT

La situation de ces régions rappelle celle du Chati. En dehors des questions de reconnaissance que nous aborderons ultérieurement, leurs possibilités d'exploitation s'avère particulièrement intéressantes : la proximité du niveau statique, qui d'ailleurs n'est probablement qu'apparent, et le débit spécifique, lui aussi, probablement améliorable, rendent possible l'introduction d'éoliennes sur une grande échelle.

Mais nous verrons qu'auparavant, il faudra s'assurer que des horizons aquifères plus profonds ne sont pas capables de meilleurs caractéristiques dynamiques et que l'eau n'y est pas, généralement, artésienne.

### 3° RECONNAISSANCE — INTERET GENERAL

Nous devons tenir compte (Pl. XVII) de l'inversion de l'ordre des surfaces piézométriques nubiennes, dévoniennes et probablement siluriennes inférieures qui amène à concevoir, vers les zones d'alimentation, une diffusion de bas en haut (du Silurien-Dévonien vers le Nubien) et par conséquent vers le N. et l'E., une diffusion du haut vers le bas (du Nubien vers le Dévonien).

D'où théoriquement la possibilité d'avoir de l'eau artésienne vers le S. (Toummo, Madama, Lugri, Lebo, par exemple) et vers l'O. (Ghat, Serdeles, Tihemboka, Tarat...) lorsqu'on s'installe au voisinage du niveau statique; d'où également l'intérêt dans les régions où s'enfonce le système fezzanais de récupérer le maximum de ressources avant qu'elles ne mettent hors de portée d'une éventuelle exploitation (ceci dans le Chatî, et, peut être vers l'E., sous l'Eocène). Enfin, afin d'établir un bilan des ressources du Nubien et de l'état des caractéristiques dynamiques en profondeur dans le centre de la cuvette, il y a intérêt à envisager un sondage profond qui recouperait toute cette série.

Nous préconisons dès lors le programme suivant qui, s'il semble étendu, reste cependant modeste en regard du système énorme qui reste à prospecter et des possibilités considérables qui peuvent être mises à jour, sans diminuer pour autant les ressources dont vivent actuellement les différentes communautés du Fezzan.

#### a) RÉGION SEPTENTRIONALE

Il est possible que, comme le pense P. BELLAIR [9, p. 23], les terrains du Silurien inférieur donnent une eau artésienne captive sous le Gothlandien. Nous avons, précédemment, exprimé notre avis à ce sujet (p. 283). Cependant, le problème mérite d'être étudié : un seul forage suffira pour être fixé.

Un sondage destiné à reconnaître le Silurien inférieur pourrait donc être entrepris à une cote voisine de 390 m. au voisinage de l'affleurement gothlandien de bir el Gasr (p. 28) où si son accès s'avère difficile, à l'E.N.E. de ce point, en s'en éloignant le moins possible.

L'appareil devra être capable de 800 m. environ. Comme il est possible que les cotes requises n'existent pas dans la région préconisée, il faudra compter un approfondissement de 100 à 150 m. environ par kilomètre de déplacement au sud de l'axe anticlinal dont la trace est située dans le secteur E. et E.N.E., et qui passe par bir el Gasr : ainsi, vers Hatya d'Edri, il faudrait compter une investigation de l'ordre de 1.500 m. Un tel sondage, s'il advient qu'il donne de l'eau artésienne, apportera des éléments qui pourront être de première importance pour la mise en valeur du Chatî (relèvement de la cote des terrains exploitables, éloignement des points bas salés où affleure le système fezzanais) et dont il faudra tenir compte pour les recherches ultérieures à partir du Bouanis (Fort-Leclerc) et de l'ouadi el Ajal (Tekertiba et Oubari).

#### b) RÉGION ORIENTALE

Il serait très intéressant d'essayer de voir si le système fezzanais ne resterait pas captif sous les terrains éocènes; pour ce faire, un sondage capable de 800 à 1.000 m. pourrait être prévu en un point bas de la gouttière



éocène, situé aux environs d'une cote 250 ou 200, comme la carte au 1/1.000.000<sup>e</sup> signale qu'il en existe. Sinon l'expérience est inutile : l'eau restera ascendante sans même donner la garantie d'un débit spécifique élevé dans les horizons atteints. Une étude préalable sera donc nécessaire.

#### c) RÉGION CENTRALE

Nous avons vu qu'il ne fallait vraisemblablement pas espérer d'eau artésienne des couches profondes, cependant il est possible que des caractéristiques dynamiques s'avèrent meilleures pour les couches du Nubien inférieur.

Un sondage capable d'environ 1.000 à 1.500 m. destiné à reconnaître la série nubienne pourrait être implanté entre Thraghem et Mourzouk.

Dans le cas où les couches de la base s'avèreraient être le siège d'un système dont le niveau statique serait très nettement supérieur à celui du système fezzanais, il y aurait alors lieu de prévoir un sondage de 2.000 m. pour explorer la série paléozoïque (grès dévoniens).

#### d) RÉGIONS OCCIDENTALES

Si des études complémentaires attribuent aux terrains du Cambro-Silurien inférieur une perméabilité suffisante, il serait important d'aller capter les ressources de ces terrains à partir de la région de Serdeles, par un forage qui percerait le Gothlandien inférieur, argilo-schisteux à cette latitude.

L'intérêt d'une telle reconnaissance réside dans le fait que nous pensons qu'en cette région le niveau statique du Silurien inférieur doit encore être supérieur à celui du Dévonien. D'où la possibilité d'avoir de l'eau artésienne si le forage est implanté à une cote voisine de celle où se manifeste le système fezzanais à Serdeles.

A partir des données fournies par ce forage, dont l'investigation devra être de l'ordre de 1.000 m., il sera très probablement possible d'améliorer les conditions de vie en ouvrant à l'irrigation des terrains situés à une cote plus élevée : ceci est particulièrement intéressant pour cette région où abondent les dépôts de sels sulfatés.

Dans le Tihemboka, un forage implanté aux environs de Tan Kena donnerait sûrement de l'eau nettement artésienne. Il devra descendre à environ 400 m. D'après les renseignements fournis par ce forage et après une étude précisant le niveau statique de la nappe des grès du Silurien inférieur du Tassili au S. de Tarat, il sera probablement possible de préciser si de l'eau artésienne pourra être escomptée en ce dernier point.



## e) RÉGIONS MÉRIDIONALES ET SUD-ORIENTALES

Nous avons déjà dit combien l'état des connaissances est sommaire pour le S. Si bien que, dans le cadre d'une étude ultérieure, tout forage sera instructif et utile s'il est destiné à atteindre le Dévonien, soit vers Toummo, soit en tout autre point où se manifeste le système fezzanais et s'il est implanté à une cote voisine de celle du niveau statique local.

Il est possible qu'à Tejerhe, le niveau statique du Paléozoïque soit encore, selon notre vue, supérieur à celui du système fezzanais. Le Dévonien doit se trouver en ce point à environ 1.000 m. Et c'est encore là qu'un forage de reconnaissance serait le mieux placé compte tenu des réserves déjà formulées, car ses résultats délimiteront toute la zone « amont » où les niveaux profonds sont susceptibles de donner de l'eau artésienne. L'appareil devra être capable de 1.500 m.

## 4° RECONNAISSANCE — INTERET REGIONAL

## a) CHATI, BOUANIS, OUADI EL AJAL, MAJEDOUL

Nous avons déjà précisé à propos de l'exploitation, combien des sondages de reconnaissance des séries du Chati, du Bouanis, de l'ouadi el Ajal et de la région de Majedoul, seraient précieux pour établir judicieusement les programmes d'exploitation par forages artésiens ou par éoliennes.

## b) OUADI HEUTBA, HOFRA, CHERGUYA, RÉGION DE GATROUN

Nous savons que ces régions sont occupées par des terrains marno-gréseux et des calcaires gréseux du Paléogène supérieur et du Quaternaire; ils sont colmatés et peu perméables. A Traghém, un sondage destiné à reconnaître les possibilités des horizons aquifères du Nubien a été préconisé dans le chapitre de l'exploitation.

Sans en attendre les résultats, en tablant sur les données actuelles, il est recommandable de rechercher vers l'O., le prolongement du toit peu perméable de la nappe de Traghém et de préciser son étendue et la zone où ses effets se manifestent.

Si bien que des sondages de reconnaissance devraient être entrepris à Mourzouk en des cotes voisines de 460 m. et dans l'ouadi Heutba, suivant les renseignements fournis par ceux-ci. Une reconnaissance pourrait également être effectuée à partir de Ghoddoua dans des conditions analogues : implantation sur les terrains du Paléogène à une cote voisine de celle du niveau statique. Mais elle sera essentiellement fonction des résultats des précédentes. Si ces résultats ne sont pas positifs il faudra reprendre la reconnaissance par la méthode d'approximations successives autrement dit en s'éloignant peu à peu de Traghém.

A Gatroun-Tejerhe, le cas est différent puisqu'on ne sait rien : une prospection des ressources de cette région est par conséquent indispensable. Elle serait des plus précieuses et édifiante sur le caractère étanche des dépôts marno-gréseux du Quaternaire en cette partie du territoire. Un sondage pourrait être implanté au voisinage du niveau statique en l'une ou l'autre des localités.

Dans cette région (Gatroun) des sondages de reconnaissance à 100 ou 200 m. sont particulièrement recommandables afin de traverser les séries post-nubiennes et de pénétrer suffisamment dans le Nubien pour y reconstruire et repérer un horizon de porosité optimum.

#### c) RÉGIONS DE SERDELES ET GHAT

Dans ces régions et probablement dans de nombreux autres points que nous n'avons pu visiter, des sondages sont nécessaires pour préciser les caractéristiques dynamiques des roches-magasins constituées par le Dévonien et le Cambro-Silurien inférieur.

Un sondage en chacune de ces localités à une profondeur de 200 à 300 m., doit suffire à fournir des renseignements susceptibles d'y modifier l'exploitation des ressources hydrauliques, et éventuellement leur utilisation, en augmentant les débits disponibles et en élevant le niveau d'irrigabilité des terrains par l'utilisation d'eau artésienne.

Il est d'ailleurs possible que des sondages d'une cinquantaine de mètres s'avèrent, tout compte fait, suffisants. Comme nous l'avons recommandé à propos du Chati, il faudra faire en sorte d'exploiter les horizons dont les caractéristiques dynamiques seront celles de la roche magasin même; il faudra les repérer par le sondage de reconnaissance que nous préconisons.

#### d) AUTRES RÉGIONS

Il est probable que d'autres localités devraient être le siège de travaux de reconnaissance : en particulier toutes celles qui se trouvent dans les quarts sud-orientaux et occidentaux où le système fezzanais se manifeste, que ce soit dans le Nubien ou plus particulièrement dans le Dinantien-Dévonien ou le Silurien. Elles sont toutes susceptibles de receler de l'eau artésienne.

### 5° RESUME ET CONCLUSION

En un mot, les travaux qui devraient être entrepris se répartissent suivant le programme des travaux du Tableau 64.

Nous voyons que deux appareils pourraient se répartir la besogne : l'un capable de 500 m., l'autre capable de 2.000 m., ceci afin de disposer éven-

tuellement d'une surpuissance suffisante. Nous voyons également qu'ils suffiraient pour préciser les conditions optima d'exploitation du système fezzanais dans son ensemble. On trouvera d'excellents gisements d'argiles dans le Chati oriental où nous avons relevé des argiles blanches dans lesquelles le kaolin constitue un minimum de 90 %.

TABLEAU 64  
Programme de travaux

| REGIONS                               |   | EXPLOITATION                 |                             | RECONNAISSANCE               |                             |
|---------------------------------------|---|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| LOCALITÉS                             |   | ALTITUDES<br>optima          | PROFON-<br>DEURS<br>prévues | ALTITUDES<br>optima          | PROFON-<br>DEURS<br>prévues |
| <i>Chati :</i>                        | a | 380-390                      | 150 en moy                  |                              |                             |
| Brak.....                             | b |                              |                             | 380-390                      | 350 m                       |
| Nord d'Edri.....                      | c |                              |                             | 390                          | 1.500 m                     |
| <i>Bouanis :</i>                      |   |                              |                             |                              | 150 m                       |
| O. el Ajal.....                       |   |                              |                             |                              | 150 m                       |
| O. Heutba.....                        |   |                              |                             |                              | 150 m                       |
| <i>Hofra :</i>                        |   |                              |                             |                              | 1.500 m                     |
| Mourzouk.....                         |   |                              |                             |                              | 250 m                       |
| Traghem.....                          |   | 455                          | 40                          |                              | 250 m                       |
| <i>Cherguya :</i>                     |   | Voisinage du niveau statique |                             | Voisinage du niveau statique |                             |
| Oum el Araneb.....                    |   |                              |                             |                              | 250 m                       |
| Souila.....                           |   |                              |                             |                              | 250 m                       |
| Majedoul.....                         |   |                              |                             |                              | 150 m                       |
| <i>Gatroun :</i>                      |   |                              |                             |                              |                             |
| Tejerhe                               |   |                              |                             |                              |                             |
| a.....                                |   |                              |                             |                              | 200 m                       |
| b.....                                |   |                              |                             |                              | 1.500 m                     |
| <i>Serdeles</i>                       |   |                              |                             |                              |                             |
| a.....                                |   |                              |                             |                              | 300 m                       |
| b.....                                |   |                              |                             |                              | 1.000 m                     |
| <i>Ghat :</i>                         |   |                              |                             |                              | 300 m                       |
| Région orientale.....                 |   |                              |                             |                              | 1.000 m                     |
| TOTAUX : 5 forages profonds (1.500 m) |   |                              |                             |                              |                             |
| 12 forages peu profonds (350 m)       |   |                              |                             |                              |                             |
| n forages d'exploitation              |   |                              |                             |                              |                             |

Nous espérons avoir souligné en termes suffisamment vigoureux combien sont grandes les ressources qui restent à prospector, en regard de cel-

les qui sont actuellement exploitées, et combien de possibilités nouvelles la réalisation de ces travaux de reconnaissance pourrait permettre de découvrir sans que la puissance du système fezzanais s'en trouve affectée. Cependant, pour reprendre une constatation déjà maintes fois formulée, tant que des levés topographiques suffisamment généralisés ne nous permettront pas de relier entre elles les valeurs des cotes et des niveaux statiques respectifs des sondages entrepris, nous demeurerons dans l'imprécision actuelle quel que soit le nombre de forages réalisés, et nous ne pourrons établir les conditions qui doivent être requises localement pour tirer le meilleur parti de cet immense appareil hydraulique qui s'étend sur tout le Fezzan et qui en dépasse même le cadre vers le N. et l'E.

---





**TROISIEME PARTIE**

---

**Ressources Minérales**

---



## CHAPITRE IX

### LE NATRON

Les sels carbonatés de sodium appelés globalement *natron* existent en différents points du Fezzan; ils se forment en croûte à la surface de certains lacs. Il s'agit, dans l'erg d'Oubari, de ceux de Trouna, Nechnoucha et Fredgha (Pl. IV), à l'E. de la Cherguya, du lac de T'messa (Pl. VI) et, plus au S., d'un lac voisin de Gatroun. Ces sels existent également en faible quantité dans la région située au S.-E. du Fezzan, vers Ouaoou el Kebir, Ouaoou en Namous et Ouig el Kebir comme le signale NACHTIGAL dès 1879.

Seuls ceux de l'erg d'Oubari se prêtent actuellement à une exploitation qui constitue une source de revenus pour le pays.

#### 1. — LES GISEMENTS

Ils sont connus depuis longtemps : JOFFRE a donné en 1869 des analyses de sels provenant de l'erg d'Oubari. Avant lui, dès 1802, KLAPOTH avait déjà proposé des sels provenant des « confins du Sahara ». A LACROIX, en 1907, cite ces gisements sans étude particulière [78]. En 1931, M. PIAZZA [108] donne une description globale sur des sels carbonatés provenant probablement du lac de Mandara. En 1937, T. LIPPARINI [90] et V. MANCUSO [91] ont résumé l'état de leurs connaissances à propos des lacs à natron de l'erg d'Oubari et donné leurs points de vue sur la formation des gisements. Enfin, en 1943, A. DESIO résume [50] les résultats acquis antérieurement en continuant à citer comme lacs producteurs, des lacs qui actuellement, hormis Fredgha, ne donnent pas de natron. Ces derniers auteurs citent en effet les lacs de Mandara, Gabroun, Maaden et Fredgha. Cependant DUVEYRIER en 1864, donna [57] correctement les noms des trois lacs où la récolte de natron se fait de nos jours.

Si bien qu'on peut se demander s'il y a là confusion de noms, ce qui est possible, ou s'il s'agit de lacs qui ne produisent plus. Il faut d'ailleurs pré-

ciser qu'en dehors des habitants mêmes des lacs, bien peu d'indigènes sont capables de dire quels sont les lacs producteurs parmi les autres.

Les lieux dont il est question ont déjà été décrits (p. 207).

## 2. — LES SELS

Les carbonates de sodium qui y sont récoltés, sont indifféremment appelés *natron*. En fait, ils sont constitués par trois types de sels dont nous rappelons brièvement les caractéristiques :

1° *Le Natron* ( $\text{CO}^3 \text{Na}^2$ ,  $10 \text{OH}^2$ ) est monoclinique. Il n'a qu'une existence théorique en pays chaud, car il n'est stable qu'à une température inférieure à  $29^\circ \text{C}$ . Au-dessus de celle-ci, il s'effleurit et se transforme en thermonatrite pulvérulente. Sa présence probable dans nos échantillons peut tenir au fait que ceux-ci ont été prélevés dans une période où la chaleur moyenne n'était pas encore de l'ordre de  $29^\circ \text{C}$ .

2° *La Thermonatrite* ( $\text{CO}^3 \text{Na}^2$ ,  $\text{OH}^2$ ) est orthorhombique. Elle provient en majorité de la transformation du natron et se présente sous forme d'efflorescences.

3° *Le Trona* ( $\text{CO}^3 \text{Na}^2$ ,  $\text{CO}^3\text{H Na}$ ,  $2 \text{OH}^2$ ) est monoclinique. Il se présente en particulier dans les échantillons que nous avons relevés à Fredgha, sous forme d'une masse translucide souvent composée de nombreux groupes de fibres radiées, ou encore de plusieurs couches de quelques millimètres d'épaisseur, formées de microcristaux allongés et enchevêtrés.

Les caractéristiques minéralogiques ont été consignées dès 1884 par A. DE LAPPARENT [40].

A. LACROIX [79] donne l'ordre de cristallisation suivant que W. LINDGREN [89] et d'autres auteurs ont observé pour leur part :

1. Carbonate et sulfate de calcium,
2. Trona,
3. Thénardite et sel gemme,
4. Carbonates de sodium et sels de potassium, etc...

Les couches de sels récoltés au Fezzan sont presque uniquement constituées par du sel gemme et du natron comme d'ailleurs l'indiquent les analyses mentionnées auxquelles nous avons joints les analyses de natron provenant de T'messa et Gatroun (Tabl. 65).

Seuls les sels de Fredgha présentent la particularité d'être presque uniquement constitués par des carbonates et bicarbonates de sodium (Tabl. 66). Ceux de T'messa s'en rapprochent à la teneur en ions  $\text{SO}^4$  près (l'échantillon, très sableux, a de plus donné un fort résidu insoluble).



Pratiquement d'ailleurs, les indigènes opposent le *fredgha* désignant le natron de bonne qualité récolté au lac de ce nom, au *maaden* désignant le minéral plus grossier récolté aux lacs de Trouna et de Nechnoucha.

TABLEAU 65

Tableau des analyses de natrons du Fezzan

| IONS                                 | NECHNOUCHA | TROUNA | FREDGHA | T'MESSA | GATROUN |
|--------------------------------------|------------|--------|---------|---------|---------|
| CO <sup>3</sup> de carbonates.....   | 18,90      | 12,70  | 27,70   | 19,80   | 18,00   |
| CO <sup>3</sup> de bicarbonates..... | 12,30      | 8,00   | 12,50   | 8,40    | 8,40    |
| Ca.....                              | 0,03       | 0,03   | 0,03    | 0,03    | 0,05    |
| Mg.....                              | 0,09       | 0,03   | 0,10    | 0,03    | 0,02    |
| Na.....                              | 30,60      | 29,10  | 25,50   | 21,90   | 29,20   |
| K.....                               | 0,04       | 0,16   |         | 0,10    | 0,20    |
| Cl.....                              | 21,30      | 23,40  | 1,40    | 3,50    | 21,30   |
| SO <sup>4</sup> .....                |            | 8,14   | 0,30    | 9,37    | 3,30    |
| Insolubles.....                      | 2,30       | 6,00   | 9,80    | 24,40   | 4,20    |
| Perte à 100°.....                    | 18,00      | 12,00  | 16,00   | 15,50   | 15,50   |

TABLEAU 66

Tableau des proportions de sels carbonatés

| SELS              | NECHNOUCHA | TROUNA | FREDGHA | T'MESSA | GATROUN |
|-------------------|------------|--------|---------|---------|---------|
| Carbonates.....   | 33,40      | 22,80  | 48,80   | 35,00   | 31,80   |
| Bicarbonates..... | 17,20      | 11,30  | 17,70   | 11,80   | 11,80   |
| Total %.....      | 50,60      | 34,10  | 66,50   | 46,80   | 43,60   |

D'après les ordres de saturations découlant de l'ordre de dépôt, on peut établir des associations ioniques et les proportions des différents sels correspondant aux différents gisements (Tabl. 67); et à partir de ceux-ci, on peut essayer de donner des proportions possibles des différents sels composant le *natron* récolté (Tabl. 68) en admettant que tous les bicarbonates apparaissent dans le sel double (*trona*).

TABLEAU 67

Tableau des proportions de sels (%)

| SELS                                  | NECHNOUCHA | TROUNA | FREDGHA | T'MESSA | GATROUN |
|---------------------------------------|------------|--------|---------|---------|---------|
| SO <sup>4</sup> Na <sup>2</sup> ..... |            | 11,9   |         | 13,7    | 4,8     |
| ClNa.....                             | 34,9       | 38,3   | 2,2     | 5,7     | 34,9    |
| ClK.....                              | 0,07       | 0,40   |         | 0,19    | 0,38    |
| CO <sup>3</sup> Na <sup>2</sup> ..... | 33,4       | 22,8   | 48,8    | 35,0    | 31,8    |
| CO <sup>3</sup> H Na.....             | 17,2       | 11,3   | 17,7    | 11,8    | 11,8    |

TABLEAU 68

Répartition possible des minéraux constituant le natron fezzanais (%)

| SELS              | NECHNOUCHA | TROUNA | FREDGHA | T'MESSA | GATROUN |
|-------------------|------------|--------|---------|---------|---------|
| Trona.....        | 46,0       | 30,1   | 47,6    | 37,7    | 31,70   |
| Natron.....       | 15,3       | 10,2   | 6,5     | 12,1    | 13,15   |
| Thermonatrite.... | 7,3        | 5,6    | 28,4    | 18,5    | 14,25   |
| Stérile.....      | 31,4       | 54,1   | 17,5    | 37,7    | 40,90   |

L'étude des plaques minces réalisées dans des échantillons des lacs de l'erg d'Oubari, ne nous a pas permis de retrouver le pseudomorphisme signalé par les auteurs italiens : le natron, en effet, cristalliserait dans le système cubique aux lacs de Gabroun, Mandara et Maaden.

### 3. — ORIGINE

Le problème concernant les origines de ces sels a déjà été abordé par T. LIPARINI et V. MANCUSO.

Ces auteurs font un argument de la présence dans les eaux des lacs de traces d'acide borique que nous n'avons pas retrouvées, pour considérer les gisements exploités comme provenant d'eaux juvéniles ayant déposé des sels actuellement remaniés. Celles-ci seraient en liaison avec la présence de massifs éruptifs récents des djebels Fezzan et es Soda situés à 250 km. au N.-E. et au voisinage desquels se trouvent les sources d'eaux chaudes et radioactives de Hammam, proche de Socna. Ils opposent à ce type de dépôt, les dépôts de sebkhras de l'ouadi el Ajal voisin : ceux-ci proviendraient

du délavage de formations marines. Or, les seules formations affleurant en cette région datent du Nubien et sont continentales. Ils signalent également pour ces dépôts, la possibilité d'une origine biologique.

Tout compte fait, nous savons fort peu de choses sur les gisements étudiés. On peut ainsi faire le point de nos connaissances et de quelques déductions qu'elles permettent parfois :

a) Dans tous les cas, les eaux chargées de *natron* proviennent des dépôts de marnes sableuses et calcaires gréseux du Paléogène supérieur. Nous avons vu que ces dépôts conféraient également aux eaux un enrichissement en ions  $SO_4$  et alcalino-terreux; dans le cas de l'erg d'Oubari, les eaux sont particulièrement riches cependant en ions carbonatés.

b) Nous avons constaté le caractère nettement alcalin des eaux du système lagunaire du Paléogène supérieur (corrosion très générale des grains de quartz des roches imprégnées (p. 102).

c) La région des lacs correspond à une zone de débit de la nappe par évaporation : de ce fait, les concentrations en surface et les phénomènes de saturation auront ici une importance particulière.

d) A Nechnoucha, une augmentation du débit superficiel consécutif au nettoyage des griffons, a provoqué un arrêt du dépôt du natron. Tout indique donc que le minéral récolté résulte de la précipitation des sels qui sont mis en solution par circulation souterraine peut être profonde.

e) Toutefois, les eaux des puits voisins demeurent potables quoique faiblement natronées. Il est peu vraisemblable que ces eaux soient différentes de celles qui, par évaporation et concentration, donnent du natron à la surface des lacs. Ces dépôts pourraient par conséquent être dûs, comme nous l'avions suggéré par ailleurs (p. 214), à des phénomènes résultant d'alternances de saturation et de dissolution.

f) On ignore tout des réserves de sels en profondeur. On peut interpréter dans le sens de l'épuisement les citations d'auteurs précédents concernant les lacs actuellement non-producteurs. Il est alors à noter que les lacs à natron actuels se trouvent les plus éloignés de l'ouadi el Ajal. Suivant cette façon de voir, faut-il en conclure que nous approchons de l'épuisement du natron du sous-sol de l'erg d'Oubari ?

g) A propos de l'origine du natron, nous avons rapporté l'hypothèse attachée à des venues alcalines des djebels éruptifs du N. Il est possible aussi bien, en dehors de cette origine basée sur la présence de *sebkhras* fossiles

en profondeur, de retenir celle qui serait due à des réactions secondaires d'eaux carbonatées calciques sur des argiles sodiques. Nous avons déjà envisagé semblables possibilités à propos du Chati où les ions Na excédaient les ions Cl, comme cela se passe généralement dans les eaux étudiées; mais, alors, les eaux étaient sulfatées calciques.

Les faits demeurent trop épars et nos connaissances des données chimiques et physico-chimiques qui conditionnent ces précipitations, trop succinctes pour retenir actuellement une hypothèse avec une préférence fondée par rapport à l'autre.

#### 4. — PROSPECTION

Sans attendre que les lacs de l'erg d'Oubari actuellement producteurs, soient sujets d'un abaissement sensible de teneur en natron et par conséquent d'un accroissement des teneurs en ions Ca, Mg et  $\text{SO}_4$  et Cl pour donner une salure probablement comparable à celle des lacs de la périphérie (p. 213), on peut envisager une méthode de prospection. Dans une hypothèse (sebkhra fossile subordonnée à la région des lacs à natron) comme dans l'autre (échange de base puis concentration et précipitation dans cette zone de débit de grande superficie), on pourrait chercher à provoquer la cristallisation du natron dans les petits lacs ou les fonds d'ouadis humides voisins de lacs producteurs ou eux-mêmes producteurs (Oum R'sass).

Ceux-ci découpés et approfondis suffisamment en forme de vasques profondes et larges, provoqueront un débit par évaporation de la nappe qui apparaîtra librement, et des précipitations.

Tenant compte de l'expérience de Nechnoucha, il faudrait approfondir les trous suffisamment pour que les saumures aient une origine plus profonde que superficielle. Il faudrait retirer les croûtes salines qui se formeraient afin d'éviter les remaniements éventuels des mêmes sels et afin de provoquer des migrations vers la surface. Dans un délai plus ou moins long (une, plusieurs saisons ?) on pourrait être fixé sur la présence du natron.

#### 5. — PRODUCTION

La formation de la croûte exploitée se produit principalement au début de chaque été; c'est durant ces époques qui s'effectuent les récoltes avec des fortunes variables d'une année à l'autre suivant les caractéristiques de l'année considérée: la récolte sera évidemment fonction de la température moyenne et de l'état hygrométrique qui régiront l'intensité des évaporations.

TABLEAU 69  
Tableau des productions de natron

| ANNEES    | TEMPÉRATURES            | HYGROMÉTRIE             | PRODUCTION<br>(en tonnes) |
|-----------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
|           | Juin { maxima<br>minima | Juin { maxima<br>minima |                           |
| 1941..... |                         |                         | 60                        |
| 1942..... |                         |                         | 75                        |
| 1943..... |                         |                         | 115                       |
| 1944..... | 37°8<br>24°2            | 26,6<br>14              | 84                        |
| 1945..... | 36°7<br>22°5            | 39,3<br>17,7            | 49                        |
| 1946..... | 40°5                    | 19,9<br>1,1             | 102                       |
| 1947..... | 39°5<br>24°3            | 38,6<br>21,7            | 100                       |
| 1948..... | 28°1<br>22°5            | 42,5<br>24,9            | 20                        |

Le Tableau 69 est suffisant pour permettre de constater que lorsque, en 1948, par exemple, s'allièrent températures modérées et grande humidité relative, la production fut très faible (20 tonnes); les lacs ne s'asséchèrent d'ailleurs pas entièrement comme cela leur arrive durant la plupart des étés. En 1946, au contraire, l'année fut chaude et sèche et une récolte de 102 tonnes fut possible. Notons qu'en 1931, M. PIAZZA rapportait qu'environ 200 à 250 quintaux de carbonate de soude étaient acheminés vers la côte. On peut donc penser que, dans certains cas, des prévisions de récolte pourraient être envisagées.

Le transport du natron à la côte ou en Tunisie pose un problème important : ce minerai constitue une partie du frêt retour des convois qui circulent entre Tunis et Fort-Leclerc. La part du transport, dans le prix de revient du kilo rendu à Tunis, est très important; elle est voisine de 70 %, alors que les parts de l'extraction et du transport, des lacs à Fort-Leclerc, sont respectivement de 20 et 10 %. C'est dire que les conditions dans lesquelles le gisement est exploité, sont très difficiles et qu'une faible variation d'une composante du prix de revient, peut les rendre prohibitives.





## CHAPITRE X

### LE FER

L'existence du gisement de fer du Chati oriental était jusqu'à présent ignorée; nous avons découvert celui-ci lors de l'étude de cette région en 1948. Toutes les roches qui y affleurent ont d'ailleurs un aspect particulier dû à leurs couleurs noire et rouge (Tabl. 70).

TABLEAU 70

Analyses de quelques grès du Chati

| LOCALITÉS     | Humi-<br>dité | Perte<br>au<br>feu | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MnO  | MgO  | SO <sub>2</sub> | S    | Ph  | Sr  | Ba  |
|---------------|---------------|--------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------|-----------------|------|-----|-----|-----|
| Douissa . . . | 0,20          | 22,50              | 36,40            | 13,60                          | 7,00                           | 20,44 |      | 0,50 | 1,36            |      | 8,2 | tr. | tr. |
| Ouenzérik .   | 0,35          | 3,45               | 76,64            | 15,84                          | 0,83                           | 1,42  | 2,02 |      |                 | 0,22 | 7,8 |     |     |

Les eaux elles-mêmes sont relativement très chargées en ions Fe (8 à 12 mg/litre). En certains points, au voisinage des sources ou de puits peu fréquentés, des formations tulleuses recèlent des teneurs déjà élevées en fer (Tabl. 71). Ce métal apparaît, suivant le cas, sous forme de sulfates ou d'hydroxydes dans le Chati oriental, d'hydroxydes, de silicates ou de sulfures dans le Chati occidental.

Le gisement s'étend sur une assez grande superficie et est constitué par plusieurs couches d'aspects différents et de teneurs variables.

Nous sommes restés trop peu de temps sur les lieux et ne disposons pas de moyens suffisants pour pouvoir élaborer une étude très détaillée. Néan-

moins, nous avons pu réunir un certain nombre de renseignements et de données d'ordres divers pour nous en faire, d'ores et déjà, une idée suffisamment précise.

TABLEAU 71

Teneurs de quelques dépôts voisins de points d'eau

| LOCALITES                             | Bir Gualmara<br>(B.I.R.H. N° 515) | Aïn voisin<br>de T'Missan       | Puits voisin<br>de T'Missan     |
|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| ÉTAGE GÉOLOGIQUE                      | Tournaisien                       | Dévonien<br>ou Tournaisien inf. | Dévonien<br>ou Tournaisien inf. |
| Humidité.....                         | 11,40                             | 8,05                            | 3,85                            |
| Perte au feu (dont SO <sup>3</sup> ). | 57,35                             | 10,50                           | 9,10                            |
| SiO <sup>2</sup> .....                | 3,30                              | 28,48                           | 67,75                           |
| Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .....  | 27,38                             | 49,10                           | 19                              |
| SO <sup>3</sup> .....                 | 37,83                             |                                 |                                 |
| S.....                                |                                   | 0,57                            | 1,17                            |
| Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup> .....  |                                   | 1,08                            | 0,79                            |
| MnO.....                              |                                   | 1,22                            | 0,11                            |
| Na <sup>2</sup> O.....                | 1,55                              |                                 |                                 |
| CaO.....                              |                                   | tr.                             |                                 |
| pH.....                               |                                   | 7,4                             | 7,4                             |

## 1. — SITUATION GEOLOGIQUE

Les couches qui le composent sont situées dans le Tournaisien continental. Nous avons pu trouver au sein de la formation un tronçon d'environ 20 cm. d'*Archeosigillaria Vanuxemi* KIDSTON entièrement épigénisé en oolithes ferrugineuses. Elles affleurent principalement entre Guira et le méridien de Ech-Kidha (Pl. III).

Elles se décomposent de la façon suivante :

a) Les formations inférieures sont observables au N. de Guira et composées de couches marneuses et de couches de grès ferrugineux souvent à forte granulométrie.

b) Entre les villages précédemment cités, affleurent essentiellement soit dans des buttes isolées ou de simples pitons, soit dans la coupe de la falaise qui sépare les lits d'oueds des plateaux couronnés par les formations de calcaires gréseux et marnes sableuses du Paléogène supérieur, des couches oolithiques sur une épaisseur moyenne de 0,75 à 2 m.; celles-ci sont entrecoupées de quelques filets grés-marneux.

c) Les couches supérieures sont constituées par des masses ferrugineuses zonées, brunes, noires, violacées ou rouges; elles sont massives sans cristallisation, ni agglomération visibles en dehors des zones rubanées formées de petites couches de quelques millimètres à 2 cm. d'épaisseur; on les rencontre surtout vers bir Gualmara, à l'E. de la région étudiée. On trouve aussi des masses schisteuses très fines, lie-de-vin, affleurant principalement à l'E. de Douessa, en bordure du Zellaf.

La masse ferrugineuse est de la sorte très diffuse verticalement dans cette portion de la série tournaissienne où, de la base au sommet, nous assistons à une sorte de transition :

- a) base à prédominance gréseuse.
- b) couches colithiques et gréseuses.
- c) couches de masses très fines et schisteuses.

Retenons qu'elles se trouvent pratiquement à la limite du Tournaisien continental et du Tournaisien marin affleurant sporadiquement dès le méridien de Brak.

Les échantillons que nous avons rapportés se placent, géographiquement, de la façon suivante dans la série ainsi décrite :

*Echantillons n<sup>os</sup> 1 et 2* : couches gréseuses de base relevées au Douil Haddid, au N. de Guira.

*Echantillon n<sup>o</sup> 3* : oolithes ferrugineuses relevées entre Deb-Deb et Ech-Kida et dans l'oued Guira.

*Echantillons n<sup>os</sup> 4 et 5* : masse ferrugineuse, zonée, prélevée légèrement au N. de bir Gualmara.

*Echantillon n<sup>o</sup> 6* : schistes lie-de-vin, prélevés à mi-chemin entre Douessa et Ech-Cheb.

## 2. — ETUDE CHIMIQUE

Les analyses chimiques ont donné les résultats consignés au tableau 72.

On peut remarquer que, si le fer métal a une teneur moyenne de 50 %, on ne relève la présence d'aucun élément rare de valeur. Le P<sup>2</sup>O<sup>5</sup> existe en quantité non négligeable.

Ces résultats seuls sont insuffisants pour nous permettre de déterminer les principaux composants des minerais. Nous allons examiner successivement les résultats des analyses thermiques différentielles et pondérales et ceux des observations possibles en plaques minces et en sections polies, et

nous les confronterons afin de tirer des conclusions sur les origines et la composition minéralogique du gisement.

TABLEAU 72

Tableau des analyses de minerais de fer du Chati <sup>(1)</sup>

| ECHANTILLONS                                | 1     | 3     |       |       | 4    |       | 5     | 6     |       |
|---------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
|                                             | *     | *     |       |       | *    |       | *     | *     |       |
| SiO <sub>2</sub> .....                      | 4,20  | 4,25  | 5,67  | 7,65  | 6,50 | 44,66 | 6,90  | 6,35  | 10,64 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....        | 4     | 6,20  | 1,72  | 5,28  | 8    | 8,42  | 6,70  | 7,20  | 2,13  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (total)..... | 77,20 | 66,50 | 72,42 | 64,86 | 66   | 46,72 | 75,50 | 76,30 | 76,03 |
| MnO (total).....                            | 0,65  | 0,60  | 0,59  | 0,87  | 0,95 | 0,88  | 2,30  | 0,16  | 0,44  |
| MgO.....                                    | 0,70  | 0,25  |       | 0,75  | 0,30 |       | 0,45  | 0,20  |       |
| CaO.....                                    | 0,20  | 2,60  | 1,26  | 5,21  | 4,50 | 0,70  | 0,35  | 0,90  | 0,58  |
| Na <sub>2</sub> O.....                      | 0,80  | 2     |       | 0,06  | 0,50 |       | 0,35  | 0,60  |       |
| K <sub>2</sub> O.....                       | 0,45  | 0,65  |       | 2,55  | 0,40 |       | 0,40  | 0,25  |       |
| Ti O <sub>2</sub> .....                     | 0,25  | 0,40  |       |       | 0,40 |       | 0,45  | 0,50  |       |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....         | 1,18  | 2,40  | 2,10  | 3,58  | 4    |       | 0,55  | 0,28  |       |
| H <sub>2</sub> O (à 100°).....              | 2,60  | 1,65  | 2,70  |       | 1    | 0,60  | 1,05  | 1,50  | 1,90  |
| H <sub>2</sub> O (combiné).....             | 6     | 7,90  |       |       | 6,90 |       | 5,45  | 5,20  |       |
| Cl.....                                     | 3,05  | 2,65  |       |       | 0,90 |       | 0,30  | 1,50  |       |
| S (en SO <sub>3</sub> ).....                | 0,60  | 1,70  | 0,53  | 1,70  | 0,40 | 0,22  | 0,40  | 0,50  | 1,63  |
| CO <sub>2</sub> .....                       | 0,10  | 0,40  |       |       | 0,50 |       | 0,15  | 0,10  |       |
| V (en V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ).....  | 0,01  |       |       |       | tr.  |       | tr.   | tr.   |       |
| MnO <sub>2</sub> .....                      | tr.   | 0,70  |       |       | 0,90 |       | 1,45  | tr.   |       |
| FeO.....                                    | 0,30  | 0,40  |       |       | 0,20 |       | 0,30  | 0,30  |       |
| ZnO.....                                    | tr.   |       |       |       |      |       |       |       |       |
| As.....                                     |       | tr.   |       | tr.   |      |       |       | tr.   |       |
| Perte au feu.....                           |       |       | 10    | 9,78  |      | 5,95  |       |       | 9,25  |

### 3. — ANALYSES THERMIQUES DIFFERENTIELLES

Les tracés obtenus présentent les caractéristiques suivantes avec les températures croissantes (courbes de la fig. 46) :

a) Crochet à 100-120° correspondant au départ de l'eau d'absorption. Dans le cas de l'échantillon n° 1 et moins nettement du n° 2, l'élimination de l'eau se poursuit au delà de 100° jusqu'à une température voisine de

1. — Les analyses marquées d'un astérisque (\*) ont été réalisées au Centre technique d'analyses chimiques de Minéraux et de Roches du C.N.R.S., à Paris.



150° : ce fait doit indiquer l'existence de la *stilpnosidélite*. Dans les autres cas, elle ne semble pas exister à moins que ce gel n'ait cristallisé en *goethite* ou en *oligiste* en cours d'opération.

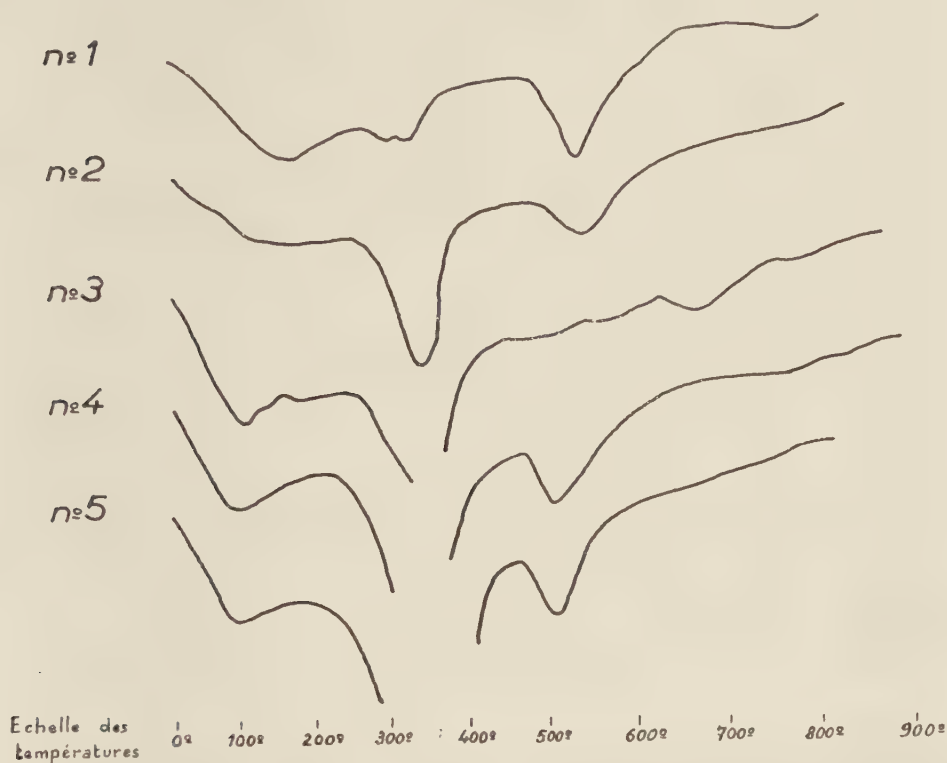


FIG. 46. — ANALYSES THERMIQUES DIFFÉRENTIELLES.

b) Crochet entre 300 et 400° correspondant à la décomposition des *hydroxydes de fer*.

Celui-ci est très net sur toutes les courbes, sauf sur la courbe 1 où il trahit une très faible proportion de ce minéral : nous y avons décelé par contre, avons-nous vu, de la *stilpnosidélite*.

c) Crochet voisin de 550° correspondant à la décomposition des *monohydrates d'alumine* (s'il s'agissait du kaolin, nous devrions trouver un crochet exothermique à 1050° environ).

Celui-ci est pratiquement inexistant dans l'échantillon n° 3, oolithique, alors qu'il est très net partout ailleurs.

d) Crochet faible de 650° correspondant à la décomposition des *chlorites*.

Celui-ci existe de façon peu nette dans la courbe de l'échantillon n° 3; il indique la présence de traces de ce minéral.

En un mot, ces analyses indiquent l'existence du fer sous les formes prédominantes de gel, *stilpnosidélite* pour les couches inférieures du gisement et d'oxydes plus ou moins hydratés pour les couches supérieures; par ailleurs, elles indiquent l'existence, à peu près générale, de traces de *monohydrates d'alumine* et, en plus, pour le n° 3, d'un peu de *chlorites*.

#### 4. — ANALYSES THERMIQUES PONDERALES

Les tracés permettent les observations suivantes (courbes de la fig. 47) :

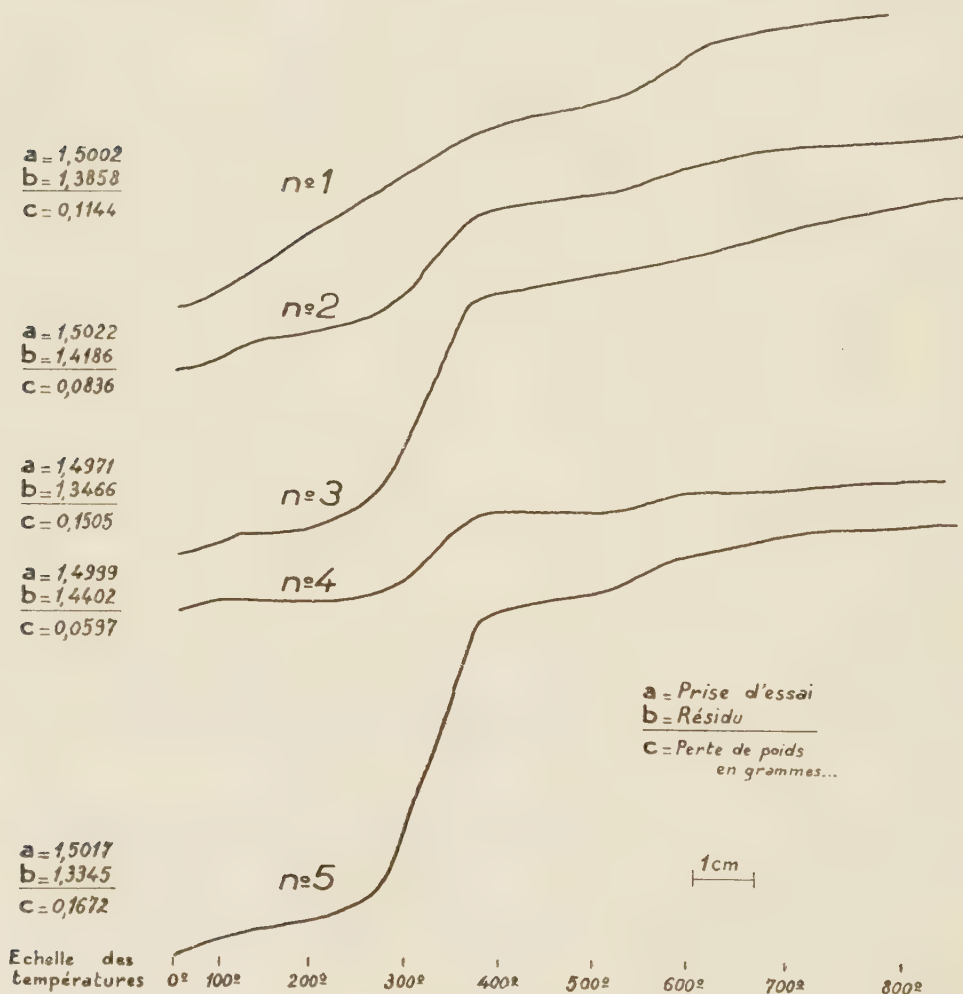


FIG. 47. — ANALYSES THERMIQUES PONDERALES.

a) De 0° au voisinage de 100°, perte générale de l'eau d'adsorption.

b) ensuite, en général, palier (net pour le n° 4) jusqu'à environ 250°. Cependant, la courbe n° 1 indique une décomposition progressive de ce qui doit être un gel, soit la *stilpnosidélite*. Ce fait s'observe encore, mais de façon moins nette, dans la courbe n° 2.

c) de 250-300° à 400°, décomposition générale des *hydroxydes de fer* (*gæthite*). Celle-ci est particulièrement nette pour les échantillons n° 3, oolithiques, et n° 5. Un calcul rapide<sup>1</sup> montre que, dans tous les cas, les proportions moléculaires d'eau décomposée sont inférieures à celles de  $\text{Fe}^2 \text{O}^3$ ; par conséquent, cet oxyde doit pouvoir exister sous forme de *gæthite* ( $\text{Fe}^2 \text{O}^3, \text{OH}^2$ ), mais aussi sous forme d'*oligiste* ( $\text{Fe}^2 \text{O}^3$ ). Dans le n° 1, la décomposition progressive, déjà mentionnée, s'arrête en même temps que s'arrête la décomposition de la *gæthite*; il doit donc y avoir dans cet échantillon, une faible proportion de ce minéral voisinant avec la *stilpnosidélite* ou, comme nous l'avons déjà supposé, transformation de ce gel en *gæthite* durant l'opération.

d) entre 550 et 600°, tous les échantillons, sauf le n° 3 donnent un très léger départ au point de déshydratation des *monohydrates d'alumine*. Celui-ci, très faible, n'a d'ailleurs de sens que parce qu'il se retrouve d'une courbe à l'autre.

Un calcul rapide portant sur les résultats du n° 5 montre, en effet, qu'il y a globalement les mêmes proportions moléculaires d' $\text{Al}^2 \text{O}^3$  et d' $\text{OH}^2$  avec cependant léger excès d' $\text{Al}^2 \text{O}^3$ .

e) au delà de cette température, seule la courbe n° 3 semble trahir l'amorce d'une autre décomposition correspondant à des traces de *chlorites*.

En résumé, ces diagrammes trahissent l'existence possible de *stilpnosidélite* et de *gæthite* dans les couches inférieures; de *gæthite* et d'*oligiste* pour les parties moyennes et supérieures. D'une façon générale, on trouve des traces d'un *monohydrate d'alumine* (*bœhmite* ou *diaspore*), sauf cependant dans le n° 3 où semblent, par contre, exister de faibles traces de *chlorites*.

1. — Soit un exemple de calcul à propos du n° 3 :

Perte totale d'eau : 0,1505 pour une courbe de 60 mm. d'ordonnées. Sur celle-ci, la décomposition qui nous intéresse s'étend sur 35 mm., soit une perte d'eau correspondante de 0,087 gr.

ou en % : 5,83 %, ce qui correspond à  $\frac{5,83}{18} = 0,32$  molécule d' $\text{OH}^2$ .

Or, l'analyse indique 66,5 % de  $\text{Fe}^2 \text{O}^3$  ce qui correspond à  $\frac{66,5}{160} = 0,41$  molécule de  $\text{Fe}^2 \text{O}^3$ .

Or 0,41 est supérieur à 0,32; d'où l'existence possible de  $\text{Fe}^2 \text{O}^3$  non hydraté. Pour le n° 5 on obtient 0,47 supérieur à 0,11.

## 5. — SECTIONS POLIES

Deux sections ont pu être étudiées :

a) L'échantillon n° 1 a permis la réalisation d'une surface polie relativement bonne : elle ne trahit au total, que la présence de gros et petits grains de quartz anguleux dont les contours sinueux et alvéolaires peuvent être dus à des altérations : ceux-ci sont semés, épars dans un ciment uniformément constitué par de la stilpnosidérite. (Pl. XXI, fig. 3).

b) Les échantillons n° 3 ne donnèrent qu'une surface très médiocre; il fallut procéder à plusieurs réimprégnations et repolissages avant d'obtenir une section à peine lisible (Pl. XXI, fig. 1, 2).

Son étude montra l'existence d'oolithes peu serrées, de formes ellipsoïdales dont le grand diamètre mesure en moyenne 0 mm. 3. Le noyau central est constitué d'éléments variables : monocristal de *gæthite* souvent volumineux, d'*oligiste*, plus rarement de *limonite* ou de *stilpnosidérite* et de débris de quartz. L'enveloppe corticale est faite de fines alternances de *gæthite*, d'*oligiste* ou de *stilpnosidérite*.

Le ciment est constitué par un agrégat de différents éléments de biréfractences très différenciées : *gæthite*, *oligiste*, *stilpnosidérite* ou zones altérées de la surface polie et, parfois, d'éléments transparents.

## 6. — PLAQUES MINCES

a) L'échantillon n° 1 montre une masse uniformément ferrugineuses, indifférenciée, probablement uniquement constituée par une masse opaque : la surface, du fait de la manipulation, est craquelée. On distingue des grains de quartz, en grande majorité anguleux et deux ou trois grains de zircon.

b) L'échantillon n° 2 est un grès très fin, zoné, constitué, d'une part par de petits grains de quartz anguleux, d'autre part, de grains de quartz de plus grande taille, disposés en couches très franches dans un ciment amorphe (Pl. XXI, fig. 5).

c) L'échantillon n° 3 correspondant à la masse oolithique, donne des plaques qui montrent fort bien sa constitution. On y décèle des oolithes de types différents : cœur constitué par un monocristal de *gæthite* ou de quartz ou par une matière opaque; enveloppe corticale constituée également par de la *gæthite* ou de l'*oligiste* et par une matière amorphe; ciment constitué principalement par de l'*oligiste* ou bien par une matière amorphe sombre ou encore par une masse microcristalline de *bœhmite* (signe —); on distingue quelques sphérolites de calcédoine dans les oolithes et dans le ciment.

d) L'échantillon n° 4 permet d'observer des grains de quartz dont les contours laissent voir des figures de corrosion, et quelques grains de *feldspath* semés dans un ciment opaque : l'opacité de ce dernier est variable et donne à la roche une allure zonée régulière. On distingue quelques plages de *calcédoine* (Pl. XXI, fig. 6).

e) L'échantillon n° 5, moins nettement zoné que le précédent, contient beaucoup moins de quartz; le ciment, opaque, a une importance plus grande. On y décèle encore quelques grains de *silice* mais aussi des *micas* orientés : il s'agit donc d'une *phyllite* à ciment ferrugineux et probablement aussi à *boëhmite* (quoique, dans ce cas, l'observation en immersion n'ait donné aucun résultat spécifique).

## 7. — ORIGINE

De ces études, il ressort que les couches de base de la série sont caractérisées par une structure gréseuse à ciment de *stilpnosidélite* et de *gœthite*; les couches moyennes ont un caractère oolithique franc : les éléments prédominants sont la *gœthite*, l'*oligiste* et la *stilpnosidélite*; enfin, les couches supérieures ont une structure gréseuse à la base, et subcristalline (gel) et de *phyllite*, de façon soutenue, au sommet.

D'une façon générale, le quartz se rencontre sous forme de grains anguleux; d'autre part, la présence de *calcédoine* implique des circulations d'eau caustiques, chargées en Si O<sup>2</sup>; ces circulations durent être postérieures à la mise en place du gisement et à son remaniement latent qui est à l'origine des dépôts de gel d'hydroxydes de fer de son mur et de son toit.

La constitution de ce *gisement de bordure* est contemporaine de la fin de l'épisode continental tournaisien.

Les éléments nous manquent pour nous faire une idée précise sur l'origine de la minéralisation; il est possible qu'il s'agisse du remaniement d'un gîte hydrothermal plus profond (trace de pyrite dans les dépôts de T'missan et dans les carottes de grès du sondage d'Ouenzerik) ou, plus vraisemblablement, de dépôts latéritiques dont les gels auraient été mis en mouvement, concentrés et partiellement recristallisés.

## 8. — CUBAGE

La zone oolithique de 1 m. de puissance moyenne est celle qui peut être le plus facilement suivie et dont le tonnage peut être le plus facilement estimé. Le tonnage visible, situé au dessus du niveau topographique moyen défini par les lits d'oueds, est de l'ordre de 5 à 10 millions de tonnes.



Les analyses chimiques montrent que les fortes teneurs sont loin d'être limitées à ces couches. Si bien que, compte tenu du tonnage des couches oolithiques se trouvant sous la surface moyenne du sol, du tonnage des couches à teneurs élevées du mur et du toit et des extensions latérales éventuelles des formations, ce tonnage pourrait être, au minimum, facilement décuplé.

#### 9. — EXPLOITABILITE

Dans une situation géographique semblable, aucun gisement, fut-il très important, ne saurait être considéré comme exploitable puisque le prix de revient de la tonne de minerai rendue à un port, se verrait majoré, par le transport, d'environ 25 à 30.000 francs. Nos recherches n'ont pas, par ailleurs, amené la découverte de minéraux rares susceptibles de valoriser ce gisement.

---

## **QUATRIEME PARTIE**

---

## **Conclusions**

---



## CONCLUSIONS

Il a semblé intéressant, pour conclure, d'essayer de classer les faits qui sont apparus au cours des études précédentes. On pourrait ainsi essayer de séparer ceux qui seraient imputables à la position même du Fezzan sur le grand continent africain (causes profondes) et ceux qui seraient dus à des conditions extérieures, indépendantes de cette position (causes superficielles).

### a) FAITS DUS A LA POSITION DU FEZZAN SUR LE BOUCLIER AFRICAIN

#### 1. — *Faible ampleur des mouvements orogéniques successifs, mais effets latéralement très étendus.*

Brèves incursions marines (parfois entrecoupées d'intermèdes continentaux) dans une série constituée essentiellement par des dépôts détritiques continentaux ou de bordure, gréseux ou argileux.

Remaniements constants de matériaux d'une couche par la suivante : d'où usure, vétusté, absence de traces originelles dans les sédiments (minéraux lourds) et superposition sur les grains de sable de caractères dus aux érosions successives qu'ils ont subies (éolienne ou fluvio-lacustre).

#### 2. — *Faible ampleur verticale, mais grande extension latérale des éléments structuraux.*

Mise en place d'une cuvette structurale d'une très grande superficie; cette cuvette est limitée par des voissures anticlinales très surbaissées et par des secteurs des recouvrements sédimentaires des dômes élevés de l'Ahaggar et du Tibesti.

Affleurements disposés en auréoles autour du Fezzan. Les alternances de couches poreuses et perméables, constituent alors une disposition favorable pour emmagasiner des ressources hydrauliques sur des surfaces considérables. L'artésianisme est possible en certains points du fait que des affleurements poreux se trouvent, pour une part importante, dans certaines régions plus élevées de bordure, jouant ainsi le rôle de collecteurs et de châteaux d'eau. D'autant que dans ces régions la pluviométrie est plus im-  
tante que dans le centre de la cuvette.

La cuvette a pu être emplie d'eaux totalement; à certaines époques, celles-ci apparurent librement sous forme d'immenses lacs (Paléogène supérieur).

3. — *Absence pratique de roches cristallines en dehors de certains confins*

Pratiquement pas d'intrusions. Pas de bouleversements structuraux dus à la présence de batholites ou de coulées. Aucune observation de traces de gisements thermo-minéraux au sein de la cuvette fezzanaise. Les confins fezzanais méridionaux, orientaux et septentrionaux, où se trouvent des massifs de roches cristallines, n'ont pas été prospectés.

b) FAITS IMPUTABLES A DES CAUSES SUPERFICIELLES, ANCIENNES OU ACTUELLES :

CLIMATS, ÉROSION, RUISSELLEMENTS, ETC...

1. — *Gisement de fer sédimentaire tournaisien du Chati.*

Remaniement probable de produits de lessivage de dépôts latéritiques. A noter que les dépôts tournaisiens sont généralement ferrugineux tant à l'O. (Serdeles, Tihemboka), qu'au N. du Fezzan (Chati).

2. — *Altérations superficielles des affleurements.*

Quartzification en dalles ou formation de grès ferrugineux sur les plateaux (les passées quartziteuses des séries continentales peuvent correspondre à des sols fossiles.

Silicification (*opale, calcédoine, quartz*) de certaines zones sous certaines conditions (notamment : abondance voisine de cations pour favoriser la mobilisation de la silice, et alternance de périodes de pluies et de sécheresses pour favoriser les concentrations et les précipitations).

3. — *Concentration des sels à la surface du sol.*

Phénomènes consécutifs à l'évaporation des nappes. Dépôts de natron, dans certains cas, lorsque les eaux sont libres. Formation de sebkhras lorsqu'elles sont peu éloignées de la surface du sol (moins de 1 m. à 1 m. 50) sur de grandes étendues et qu'un débit de la nappe y est possible (terrains non colmatés). Lorsque les eaux sont voisines de la surface du sol (exploitables par puits), on note un accroissement du résidu sec par rapport aux eaux profondes qui, toutes, sont toujours très peu chargées (150 à 300 mg/l). Durant un accroissement progressif, on note d'abord, de façon générale, une augmentation des teneurs en ions  $\text{SO}_4$  et alcalino-terreux, puis une augmentation plus rapide des teneurs en Cl Na.



4. — *Répartition des sédiments par voies lacustre, fluviale ou éolienne*  
*Constitution des sérirs, ramlas, dunes, dépôts de feich-feich et d'alluvions*

L'importance en superficie des dépôts sableux, très poreux peut avoir une certaine répercussion sur le plan hydrologique. Il semble, en effet, que les quantités d'eau de pluies reçues par des régions de très grandes étendues telles que les ergs de Mourzouk ou d'Oubari (en dehors de certaines zones dans ce dernier) ne peuvent participer à l'alimentation de nappes subordonnées. En effet aucun ruissellement ne peut s'y produire et toute l'eau s'infiltrant sur place, tend à passer en eau de rétention reprise, après un temps variable (6 mois) par l'évaporation.

5. — *Alimentation des nappes.*

Seules, les eaux de ruissellements peuvent participer à l'alimentation des nappes, car des quantités importantes d'eau viennent s'infiltrer dans une même zone. De la sorte, le volume d'eau de rétention abandonné devient négligeable. D'où il ressort que l'alimentation des nappes se fait principalement dans les zones de fortes pluviométries, où les ruissellements sont possibles et où la nappe n'est pas trop éloignée de la surface du sol.

Cette discrimination des faits, de leurs causes et, éventuellement, de leurs effets, rend bien compte du double caractère africain et saharien (tropical, semble-t-il, à certaines époques) qui domina toute l'histoire du Fezzan.

CARTHAGE, 1952.

---



## LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

---

1. — AGAFONOFF V. (1924) : Sur quelques propriétés des lœss (*C.R. Ac. Sc.*, t. 178, p. 103).  
ANGOT P. (1939) : Cf. n° 11.
2. — AUZEL M. et CAILLEUX A. (1949) : Silicifications nord-sahariennes (*B.S.G.Fr.* (5), t. XIX, pp. 553-560).
3. — BARRABÉ L. (1928) : Sur la présence d'amas de calcaires silicifiés dans des tufs à la Martinique et sur leur mode de silicification (*B.S.G.Fr.* (4), t. XXVIII, pp. 65-68).
4. — BARROIS CH., PRUVOST P., DUBOIS G. (1920) : Description de la faune siluro-dévonienne de Liévin (*Mém. Soc. Géol. du Nord*, t. VI, n° 2, 225 p., XVI pl.).
5. — BELLAIR P. (1944) : Sur l'âge des calcaires de Mourzouk (*C.R. Ac. Sc.*, t. 219, p. 490).
6. — BELLAIR P. (1945) : Contribution à l'étude de l'hydrogéologie de la cuvette fezzanaise (*Miss. Scient. Fezzan*, II, Inst. Rech. Sahar., Alger).
7. — BELLAIR P. (1945) : Les éléments lourds dans les sables de l'erg d'Oubari (Fezzan) (*C.R. somm. S.G.Fr.*, pp. 95-96).
8. — BELLAIR P. (1946) : Sur l'âge des affleurements calcaires de Mourzouk, Zouila et Gatroun (*Tr. Inst. Rech. Sahar.*, IV, pp. 155-165).
9. — BELLAIR P. (1948) : Données nouvelles sur le problème de l'eau au Fezzan (*Bull. Soc. Sc. Nat. Tunisie*, t. I, fasc. 1, pp. 22-23).  
BÉTRÉMIEUX (1947) : Cf. n° 23.
10. — BEYRICH E. (1852) : Bericht über die VON OVERWEG auf der Reise von Tripoli nach Murzuck und von Murzuck nach Ghat gefundenen Versteinerungen (*Zeitschr. der deutsch. geol. Gesell.*, vol. IV, p. 143, Berlin).
11. — BICHELONNE H. et ANGOT P. (1939) : Le bassin ferrifère de Lorraine (*Comité des Forges et Mines de l'Est de la France*, 485 p., XXI pl.).
12. — BIDAULT DE LISLE (1947) : La pluie de boue de vendredi 2 mai 1947 (*La Nature*, n° 3141, p. 251).
13. — BILLINGS E. (1860) : On the Devonian fossils of Canada West (*Canadian Journal N.S.*, vol. V., pp. 249-282, fig. 26-28).
14. — BORGHİ P. (1939) : Fossili devonici del Fezzan (*Publ. del Ist. Geol. Paleont. e Geogr. Fisica R. Univers. di Milano*, Série P, n° 15).
15. — BORGHİ P. et CHIESA C. (1940) : Cenni geologici e paleontologici sul paleozoico d'ell'Egghidi Uan Casa nel deserto di Taïta (Fezzan occid.) (*Publ. del Ist. Geol., Paleont. e Geogr. Fisica R. Univers. di Milano*, série P., n° 22).

16. - BORGHİ P. (1940) : Fossili paleozoici marini della seria dell'Uadi Ubarracat (Fezzan) (*Publ. del Ist. Geol., Paleont. e Geogr. Fisica R. Univers. di Milano*, série P, n° 21).
17. -- BOURCART J. (1946) : Recherches sur quelques calcaires lacustres du bassin de la Loire (*B.S.G.Fr.* (5), t. xvi, pp. 331-345).
18. -- BOUREAU E. (1950) : Etude paléoxylologique du Sahara (xi). — Sur un échantillon d'*Evodioxylon* découvert à l'Ouest du Djebel Guenema en Libye (*Bull. Mus. Nat. Hist. Nat. Paris*, (2), t. xxii, n° 6, pp. 797-803).
19. — BOURGUIGNAT R. (1862) : Paléontologie des mollusques terrestres et fluviatiles de l'Algérie (*Baillière et fils*, Paris).
20. -- BRUET E. (1932) : Recherches sur l'évolution continentale de quelques sédiments. (*Thèse, Fac. des Sc., Lyon*, n° 38).
21. - BUCQUOY, DAUTZENBERG, DOLFUSS (1887) : Les mollusques marins du Roussillon (*Baillière*, Paris).
22. - CAILLIÈRE S., KRAUT F. (1946) : Contribution à l'étude minéralogique des minerais de fer oolithiques de Lorraine (minerai magnétique de Pienne) (*Bull. Soc. Franç. Minér.*, t. 69, pp. 83-89).
23. — CAILLIÈRE S., BETREMIEUX E., HÉNIN S. (1947) : Examen des argiles de quelques sols tropicaux (*C.R. Ac. Sc.*, t. 225, p. 818).
24. - CAYEUX L. (1929) : Les roches sédimentaires de France. Les roches silicieuses (*Mém. Carte Géol. France*, Tomes I, II et III).
25. - CAILLEUX A. et ROMANOVSKY V. (1942) : Sols polygonaux et fentes de dessiccation (*B.S.G.Fr.* (5), t. xii, pp. 321-327).
26. - CAILLEUX A. (1943) : Distinction des sables marins et fluviatiles (*B.S.G.Fr.* (5), t. xvii, pp. 125-138).
- CAILLEUX A. et AUZEL M. (1949) : Cf. n° 2.
27. -- CAPOT-REY R. (1947) : L'Edeyen de Mourzouk (*Trx. Inst. Rech. Sahar.*, IV, pp. 67-109).
- CHIESA C. (1940) : Cf. n° 15.
28. — COQUAND H. (1869) : Monographie du genre *Ostrea* (*Baillière fils*, Paris).
29. — CORNET A. (1948) : Constitution géologique du Zegher (Fezzan) (*C.R. Ac. Sc.* t. 226, pp. 2162-2164).
30. - CORNET A. (1950) : Reconnaissance géologique dans l'Erg d'Oubari et la Hamada Zegher (Fezzan) (*Trx. Inst. Rech. Sahar.*, VI, pp. 63-72).
31. — DALLONI M. (1932) : Les grès siluriens et les roches intrusives des formations anciennes du Tibesti (*C.R. Ac. Sc.*, t. 194, pp. 471-474).
32. — DALLONI M. (1948) : Matériaux pour l'étude du Sahara oriental. Région entre la Libye, le Tibesti et le Kaouar (Niger). — Géologie et Préhistoire (*Miss. Scient. Fezzan*, VI, Inst. Rech. Sahar., Alger).
- DAUTZENBERG (1887) : Cf. n° 21.
33. -- DAVIDSON TH. (1857-62) : A monograph of the British fossil *Brachiopoda*, v, The Carboniferous *Brachiopoda* (London, 280 p., 60 pl.).
34. -- DAVIDSON TH. (1864-65) : A monograph of the British fossil *Brachiopoda*, VI, The Devonian *Brachiopoda* (London, 131 p., 20 pl.).

35. — DEHÉE R. (1929) : Description de la faune d'Etrœungt. Faune de passage du Dévonien au Carbonifère (*Mém. Soc. Géol. France*, nouvelle série, n° II, 62 p., 8 pl.).
36. — DEICHA G. (1945) : Les quartz et le problème de la silicification (*C.R. somm. S.G.F.*, pp. 93-95).
37. — DEICHA G. (1946) : Individualité pétrographique et faciès cristallographique (*C.R. somm. S.G.F.*, pp. 220-222).
38. — DEICHA G. (1947) : Silicification de failles aux environs de Biot (Alpes Maritimes) (*C.R. somm. S.G.F.*, pp. 11-13).
39. — DE KONINCK L. (1842-1844) : Description des animaux fossiles qui se trouvent dans le terrain carbonifère de Belgique. (*Liège*, 636 p.).
40. — DE LAPPARENT A. (1884) : Cours de minéralogie, p. 523 (*Masson et Cie*, Paris).
41. — DE LAPPARENT A.F. (1949) : Sur quelques formations récentes observées dans l'Est du Sahara algérien (*C.R. Ac. Sc.*, t. 228, pp. 1240-1242).
42. — DE LAPPARENT A.F. (1950) : Première description géologique de l'Edjelé Tan In Azzaoua (N.E. de l'Ajjer, Sahara) (*Ann. Soc. Géol. du Nord*, LXIX, pp. 86-93, 2 fig.).
43. — DESIO A. (1932) : Sulla presenza dell'Eocene nel Fezzan orientale (Tripolitania) (*Rend. R. Acc. Lincei*, (vi), Vol. xv, fasc. 10, pp. 827-828).
44. — DESIO A. (1935) : Studi geologici sulla Cirenaica, sul Deserto Libico, sulla Tripolitania e sul Fezzan Orientale (In *Miss. Scient. della R. Accad. d'Italia a Cuf'a*, 1931, vol. 1).
45. — DESIO A. (1936) : Riassunto sulla costituzione geologica del Fezzan (*Publ. del Ist. Geol. Paleont. e Geogr. Fisica R. Univers. di Milano*, Série G, n° 6, pp. 319-356).
46. — DESIO A. (1937) : Geologia e morfologia del Fezzan. — In : Il Sahara italiano : Fezzan et Oasi di Ghat. (*R. Soc. Geogr. Ital.*, pp. 41-97, Roma).
47. — DESIO A. (1939) : Le nostre conoscenze geologiche sulla Libia sino al 1938 (carte al 1/3.000.000<sup>e</sup>) (*Publ. del Ist. Geol. Paleont. e Geogr. Fisica R. Univers. di Milano*, Série G, n° 10, pp. 13-54).
48. — DESIO A. (1940) : Fossili neosilurici del Fezzan occidentale (*An. Mus. Libico St. Nat.*, vol. 1, pp. 13-45, Tripoli).
49. — DESIO A. (1941) : Sull'età eodevonica della « Arenarie ad *Harlania* » del Sahara (*Publ. del Ist. Geol. Paleont. e Geogr. Fisica R. Univers. di Milano*, Série G, n° 21, pp. 912-914).
50. — DESIO A. (1943) : L'esplorazione mineraria della Libia (*Coll. sc. e docum. dell'Africa Italiana*, vol. x, Ist. per gli studi di Politica Internazionale, Milano, 331 p.).
51. — DESIO A., CHIARUGI A. (1949) : Sulla flora fossile a Lepidodendrales del Fezzan (*Publ. del Ist. Geol. Paleont. e Geogr. Fisica R. Univers. di Milano*, Série P, n° 58, pp. 77-84).
52. — DESIO A. (1949) : Bibliografia geologica italiana dell'Africa (sino al 1948 incluso) (*Coll. scient. e docum. a cura dell'ufficio studi del ministero dell'Africa Italiana, Libia*, pp. 1-32, Vol. xv).



53. — DESPOIS J. (1946) : Géographie humaine (*Miss. scient. Fezzan*, III, Inst. Rech. Sahar., Alger).
54. — DIENERT F., WANDENBULCKE F. (1924) : A study of Colloidal Silica, (in SCHWARTZ : Silica in water, 1938, *Louisiana State University, Bull.* 30, n° 14, 16 p.).
- DOLFUSS (1887) : Cf. n° 21.
55. — DOUVILLÉ H. (1909) : Sur quelques Brachiopodes à tests perforés : *Syringothyris* du Sud-oranais, *Spirifella* de la steppe des Kirghizes et *Derbya* du Salt Range (*B.S.G.Fr.* (4), t. ix, pp. 144-157, pl. iv-v).
56. — DUBIEF J. 1950 : Evaporation et coefficients climatiques au Sahara (*Trx. Inst. Rech. Sahar.*, VI, pp. 13-44).
- DUBOIS G. (1920) : Cf. n° 4.
57. — DUVEYRIER (1864) : Exploration du Sahara. Les touaregs du Nord (*Challamel*, Paris).
58. — FRECH F. (1897) : Lethaea geognostica. — 1. Das Palæozoicum (Stuttgart. vol. 2, fac. 1, p. 243).
59. — FREY R. (1933) : Les analyses d'eaux et leur interprétation géologique (*Notes et mém. du Serv. des Mines et de la Carte Géologique*, Rabat, n° 26, 68 p.).
60. — FURON R. (1935) : Le Crétacé et le Tertiaire du Sahara Soudanais (*C.R. Ac. Sc.*, t. 196, pp. 1033-1933).
61. — FURON R., KILIAN C., MENCHIKOFF N. (1935) : La géologie du Sahara. (*Rev. Gén. des Scienc.*, t. 46, p. 116).
62. — FURON R. (1941) : Géologie de l'Afrique (*Payot*, Paris).
63. — GAUTHIER E. F. (1923) : Le Sahara (*Payot*, Paris).
64. — GERMAIN L. (1931) : Mollusques terrestres et fluviatiles, II (in *Faune de France* n° 22, *Off. Central de faunistique*, 893 p., 390 fig., 13 pl.).
65. — GLANGEAUD L. (1938) : Etudes quantitatives et expérimentales sur l'érosion et le transport par les eaux courantes (*Rev. Géol. Dynam.*, fasc. 4, pp. 322-372, 15 fig., 1 pl.).
66. — GLANGEAUD L. (1938) : Transport et sédimentation dans et à l'estuaire de la Gironde (*B.S.G.Fr.*, (5) t. VIII, pp. 599-630, 8 fig.).
67. — GOSSELET M. J. (1880) : Esquisses géologiques du Nord de la France et des contrées voisines (*Lille*, n° 1, 167 p., 7 pl.).
68. — GSELL S. (1911) : Le climat de l'Afrique du Nord dans l'Antiquité (*La Revue Africaine*, n° 283, 4<sup>e</sup> trim., pp. 243-410).
69. — HALL J. (1867) : Containing descriptions and figures of the fossil Brachiopoda of the upper Helberberg, Hamilton, Protage and Chemungs Groups (*Geol. Surv. State New-York, Palæontology*, t. IV, part I, 428 p., 63 pl.).
70. — HALL J. (1892) : An introduction to the study of the Genera of the Palæozoic Brachiopoda (*Geol. Surv. State New-York, Palæontology*, t. VIII, part. 1, 367 p., 20 pl.).

71. — HALL J. (1894) : Introduction to the study of the Genera of the Palæozoic Brachiopoda (*Nat. Hist. New-York, Palæont.*, vol. xvii, part. II, 394 p. pl. 21 à 84).
72. — HARMAN R. W. (1925-27) : Aqueous solutions of sodium Silicates (*Journ. Phys. Chem.*, Vol. 29-30-31).
73. — KIKOÏNE, RADIER (1949) : Quartzites d'altération au Soudan oriental (*C.R. somm. S.G.Fr.*, p. 339).
74. — KILIAN C. (1931) : Des complexes continentaux du Sahara (*C.R. somm. S.G.Fr.*, p. 109).
75. — KILIAN C. (1931) : Sur l'âge des grès à *Harlania* et sur l'extension du Silurien dans le Sahara oriental (*C.R. Ac. Sc.*, t. 192, p. 1742).
- KILIAN C. (1935) : Cf. n° 58.
76. — KILIAN C., LANGLOIS X. (1938) : Sur la découverte d'un oursin d'âge crétacé (moyen ou sup.) dans l'Enneri Chelemma, aux confins Ouaregs-Toubous septentrionaux du Sahara (*C.R. Ac. Sc.*, t. 206, p. 1187).
- KILIAN C., LELUBRE M. (1946) : Cf. n° 81.
- KRAUT F. (1946) : Cf. n° 22 et 23.
77. — KRUMBEIN W.C., PETITJON F.J. (1938) : Manual of sedimentary Petrography (*Appleton Century Co. inc.*).
78. — LACROIX A. (1905) : Résultats minéralogiques et géologiques des récentes explorations dans l'Afrique occidentale française (*Rev. Colon.*, n° 4, pp. 130-139; n° 5, pp. 205-223).
79. — LACROIX A. (1909) : Minéralogie de la France et des Colonies, t. III, pp. 782-785.
80. — LACROIX A. (1919) : Constitutions minéralogiques et chimiques des laves des volcans du Tibesti (*C.R. Ac. Sc.*, t. 169, pp. 401-407).
81. — LACROIX A. (1932) : Les roches intrusives et filoniennes de la région granitique et sédimentaire du Nord du Tibesti (*C.R. Ac. Sc.*, t. 194, pp. 670-674).
- LANGLOIS X. (1938) : Cf. n° 73.
82. — LELUBRE M. (1943) : Les grands traits géologiques de l'Ahaggar (Sahara central) (*Trx. Inst. Rech. Sahar.*, II, pp. 55-68).
83. — LELUBRE M. (1946) : Le Tibesti septentrional. Esquisse morphologique et structurale (*Ac. Sc. Colon.*, séance du 19 juillet 1946).
84. — LELUBRE M., KILIAN C. (1946) : De l'âge des Grès de Nubie à l'Orient de l'Ajjer (Sahara central) (*C.R. Ac. Sc.*, t. 222, p. 233-235).
85. — LELUBRE M. (1946) : A propos des calcaires de Mourzouk (*C.R. Ac. Sc.*, t. 223, pp. 359-361).
86. — LELUBRE M. (1946) : Sur le Paléozoïque du Fezzan (*C.R. Ac. Sc.*, t. 222, pp. 1403-1404).
87. — LELUBRE M. (1948) : Le Paléozoïque du Fezzan sud-oriental (*C.R. somm. S.G. Fr.*, pp. 79-80).
88. — LELUBRE M. (1949) : Géologie du Fezzan oriental (*B.S.G.Fr.* (5), t. XIX, p. 251).
89. — LINDGREN V. (1909) : Mineral Deposits (*Edit. de 1933*, p. 322).

90. — LIPPARINI T. (1937) : Geomorfologica della regione del laghi del Trona nel deserto dell'Edeyen (Fezzan) (*Atti.*, 3° Congr. Studi Colon., vol. v, pp. 198-201, Roma-Firenze).
91. — LUCAS G. (1942) : Description géologique et pétrographique des Monts de Ghar-Rouban et du Sidi el Abed (*Bull. Serv. Carte géol. Alg.*, 2° série, n° 16, 2 fasc.).
92. — MALICHEFF V. (1929) : Le loess (*Rev. géogr. phys.*, p. 147; 1930, p. 279; 1931, p. 263; 1932, p. 323; 1933, p. 131).
93. — MANCUZO V. (1937) : Considerazione ed analisi di acqua e sali dei laghi di Trona nel deserto dell'Edeyen (*Atti*, 3° congr. Studi Colon., Vol. v, pp. 201-205, Roma-Firenze).
94. — MAZENOT G. (1939) : Les *Palæohoplitidæ* tithoniques et berriasiens du S.E. de la France (*Mém. Soc. Géol. France*, n<sup>lle</sup> série, n° 41, 303 p., 40 pl.).
95. — MENCHIKOFF N. (1927) : Les roches cristallines et volcaniques du centre du désert de Libye (*C.R. Ac. Sc.*, t. 184, pp. 215-217).  
MENCHIKOFF N. (1935) : Cf. n° 58.
96. — MENCHIKOFF N. (1945) : Sur l'âge des grès de Serdelès (*C.R. Ac. Sc.*, t. 220, p. 292).
97. — MENCHIKOFF N. (1945) : Chronique (*Trx. Inst. Rech. Sahar.*, III p. 188).
98. — MENCHIKOFF N. (1948) : La paléogéographie saharienne aux temps paléozoïques (*Intern. Geol. Congress. London*, 18° session, vol. Abstr., p. 116, n° 352).
99. — MILLOT G. (1949) : Relations entre la constitution et la genèse des roches sédimentaires argileuses (*Bull. ass. Ing. Géol. Univ. Nancy*, II, n° 2, 3 et 4).
100. — MONOD T. (1948) : Sur un gisement libyen d'Amazonite et l'Emeraude dite « des Garamantes » (in « Géologie et Préhistoire », *Mis. Scient. Fezzan*, IV, p. 153).
101. — MONTFORD (1808) : Conchyol. System. II, p. 174.
102. — PAGANI P. (1934) : Su alcuni brachiopodi paleozoici di Serdeles (Fezzan) (*Atti. Soc. Ital. Sc. Nat.*, vol. 73, pp. 254-269).
103. — PAGLIANI G. (1940) : Su di Basalto del Gebel es Soda (Libia) (*Ann. Mus. Libico St. Nat.*, vol. II, pp. 251-255).
104. — PAGNI A. (1938) : Sull'età dei calcari di Murzouk (Fezzan) (*Atti. Soc. Ital. Sc. Nat.*, vol. 77, pp. 73-78).
105. — PALLARY P. (1901) : Les mollusques fossiles terrestres fluviatiles et saumâtres de l'Algérie (*Mém. Soc. Géol. France, Paléont.*, mém. n° 22).
106. — PERVINQUIÈRE L. (1907) : Etudes de paléontologie tunisienne. I. Les céphalopodes du Secondaire (*Carte Géol. Tunisie, Dion Trx. Pcs, Tunis*).
107. — PERVINQUIÈRE L. (1912) : Etudes de paléontologie tunisienne. II. Gastropodes et Lamellibranches des Terrains crétacés (*Carte Géol. Tunisie, Dion Trx Publics, Tunis*).  
PETITJOHN F.J. (1938) : Cf. n° 74.
108. — PHILLIPS (1836) : Geology of Yorks.

109. — PIAZZA M. (1931) : Trona del Lago Mandara (Fezzan) (*Period. di Mineral.*, Ann. II., Fasc. I, Roma).  
PRUVOST P. (1920) : Cf. n° 4.  
RADIER (1949) : Cf. n° 70.
110. — RIVIÈRE A. (1934) : Contribution à l'étude géologique des sédiments sableux (*Ann. Inst. Océan. Monaco*, t. 17, fasc. IV).  
ROMANOVSKY (1942) : Cf. n° 25.
111. — ROSSI C. (1939) : Fossili carbonici del Fezzan (*Publ. del Ist. Geol., Paléont. e Geogr. Fisica R. Univers. di Milano*, Série P. n° 16, pp. 185-247).
112. — ROY C.J. (1945) : La silice dans les eaux naturelles (*American Journal of Sciences*, vol. 243, n° 7, p. 393).
113. — SAMSOEN M. (1941) : Les eaux souterraines dans les territoires du Sud (*Bull. Serv. Carte Géol. Alg.*, 3<sup>e</sup> série, 6<sup>e</sup> fasc.).
114. — SANDFORD K.S. (1935) : Geological observations on the N.W. frontiers of the anglo-egyptian Sudan and the adjoining part of the southern Libyan desert (*Quart. Journ. of Geol. Soc. of London*, vol. XCI, pp. 323-381, pl. XX à XXVI).
115. — SCHOELLER H. (1934) : Les échanges de bases dans les eaux souterraines vadoses : trois exemples pris en Tunisie (*B.S.G.Fr.*, (5), t. IV, pp. 389-420).
116. — SCHOELLER H. (1942) : La question de l'eau fossile au Sahara (*C.R. somm. S.G.Fr.*, pp. 81-83).
117. — SCHOELLER H. (1949) : La température des eaux souterraines. (*Trx. Lab. Geol Fac. sc. Bordeaux*).
118. — SOWERBY J. (1818) : The Mineral Conchology of Great Britain, or Coloured figures and descriptions of those remains of Testaceous animals or Shells, which have been preserved at various times and depths in the Earth-London, vol. II, pp. 1-251.
119. — VATAN A. (1947) : Remarques sur la silicification (*C.R. somm. S.G.Fr.*, pp. 99-101).
120. — VATAN A. (1947) : La sédimentation continentale tertiaire dans le bassin de Paris méridional (*Editions toulousaines de l'Ingénieur*, 215 p.).
121. — VINASSA DE REGNY (1932) : Le acque profonde della Libia (*Ist. Agric. Colon. Ital.*, in *l'Agricol. Colon.*, Anno XXVI, n° 6, 12 p., Firenze).  
WANDENBULCKE F. (1924) : Cf. n° 48.
122. — WOODWARD H. (1883) : A monograph of the British Carboniferous Trilobites (*Palæont. Soc., London*, Part. 1, pp. 1-38, 36 pl.).
-





## LISTE DES TABLEAUX

|         |                                                                                                 | PAGES   |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Tableau | 1. — Relevé des températures maxima et minima observées à Fort Leclerc.....                     | 15      |
| —       | 2. — Tableau comparatif des températures maxima et minima de quelques localités.....            | 15      |
| —       | 3. — Relevé des mesures pluviométriques effectuées à Fort Leclerc.....                          | 17      |
| —       | 4. — Tableau comparatif des moyennes pluviométriques obtenues sur des périodes différentes..... | 18      |
| —       | 5. — Relevé des mesures hygrométriques réalisées à Fort Leclerc.....                            | 19      |
| —       | 6. — Répartition stratigraphique des espèces d'Aouinet Ouennin.                                 | 36      |
| —       | 7. — Répartition stratigraphique des espèces de la région de Serdelès.....                      | 42      |
| —       | 8. — La série paléozoïque du Chati.....                                                         | 44      |
| —       | 9. — Répartition stratigraphique des espèces récoltées dans le Chati.....                       | 48      |
| —       | 10. — Fossiles récoltés dans le Crétacé supérieur de la hameda el Homra.....                    | 59      |
| —       | 11. — Analyses chimiques de <i>feich-feich</i> .....                                            | 67      |
| —       | 12. — Composition chimique de quelques dépôts salés du Fezzan.....                              | 70      |
| —       | 13. — Constitutants essentiels des dépôts salés étudiés.....                                    | 71      |
| —       | 14. — Analyses chimiques d'argiles.....                                                         | 108     |
| —       | 15. — Granulométrie de divers dépôts.....                                                       | 114     |
| —       | 16. — Pourcentage de minéraux lourds dans certains sédiments du Fezzan.....                     | 116-117 |
| —       | 17. — Répartition des espèces minérales suivant les régions..                                   | 119     |
| —       | 18. — Profondeur des forages exécutés dans le Chati.....                                        | 142     |
| —       | 19. — Tableau comparatif du nombre de points d'eau des deux types principaux.....               | 143     |
| —       | 20. — Relevé des points d'eaux analysées du Chati.....                                          | 144-145 |
| —       | 21. — Tableau des variations comparées des températures....                                     | 146     |
| —       | 22. — Résultats de quelques mesures effectuées sur des carottes de grès du Chati.....           | 150     |
| —       | 23. — Tableau des <i>aïoune</i> à gros débits.....                                              | 152     |
| —       | 24. — Tableau des <i>r</i> % dans les eaux de la figure 12.....                                 | 155     |
| —       | 25. — Tableau des <i>r</i> % dans les eaux de la figure 15.....                                 | 159     |

|                                                                                                        | PAGES   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Tableau 26. — Tableau des températures d'eau du Sud tunisien.....                                      | 162     |
| — 27. — Niveaux statiques des forages du Chati.....                                                    | 163     |
| — 28. — Tableau résumant les destinées de l'eau du Chati.....                                          | 164     |
| — 29. — Relevé des points d'eaux analysées du Bouanis.....                                             | 168-169 |
| — 30. — Tableau des sondages du Bouanis.....                                                           | 171     |
| — 31. — Tableau des $r$ et $r$ % dans les eaux du diagramme de la figure 20.....                       | 174     |
| — 32. — Tableau des $r$ et $r$ % dans les eaux du diagramme de la figure 22.....                       | 177     |
| — 33. — Tableau comparatif des $r$ % dans les eaux du Chati et du Bouanis.....                         | 179     |
| — 34. — Relevé des points d'eaux analysées du Chergui (Ouadi el Ajal).....                             | 182-183 |
| — 35. — Relevé des points d'eaux analysées du Gharbi (Ouadi el Ajal).....                              | 184-185 |
| — 36. — Tableau des $r$ % dans les eaux du diagramme de la figure 24.....                              | 190     |
| — 37. — Tableau des $r$ % dans les eaux du diagramme de la figure 26.....                              | 193     |
| — 38. — Tableau des $r$ % dans les eaux du diagramme de la figure 27.....                              | 194     |
| — 39. — Tableau comparatif des $r$ % dans les eaux de l'Ouadi el Ajal.....                             | 196     |
| — 40. — Tableau comparatif des $r$ % dans les eaux du Bouanis et de l'Ouadi el Ajal.....               | 198     |
| — 41. — Puits observés de l'erg d'Oubari.....                                                          | 200-201 |
| — 42. — Tableau des $r$ % dans les eaux du diagramme de la figure 28.....                              | 207     |
| — 43. — Lacs de l'erg d'Oubari.....                                                                    | 208-209 |
| — 44. — Rapports ioniques remarquables des eaux des lacs.....                                          | 212     |
| — 45. — Tableau comparatif des $r$ % dans les eaux de l'erg d'Oubari et celles du Chati.....           | 215     |
| — 46. — Relevé des points d'eaux analysées de l'Ouadi Heutba..                                         | 218-219 |
| — 47. — Tableau des $r$ % dans les eaux du diagramme de la figure 30.....                              | 221     |
| — 48. — Tableau des $r$ % dans les eaux du diagramme de la figure 31.....                              | 223     |
| — 49. — Tableau comparatif des $r$ % dans les eaux de l'Ouadi el Ajal et celles de l'Ouadi Heutba..... | 224     |
| — 50. — Relevé des points d'eaux analysées de la Hofra.....                                            | 226-227 |
| — 51. — Relevé des points d'eaux analysées de la Cherguya.....                                         | 228-229 |

|                                                                                                                 | PAGES   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Tableau 52. — Tableau des sondages exécutés dans la Hofra-Cherguya.                                             | 232     |
| — 53. — Tableau des $r$ % dans les eaux de la Hofra.....                                                        | 238     |
| — 54. — Tableau des $r$ % dans les eaux de la Cherguya.....                                                     | 241     |
| — 55. — Résultats de quelques mesures effectuées sur des carottes de sondages de Touila et d'Oum el Araneb..... | 243     |
| — 56. — Tableau comparatif des $r$ % dans les eaux de la région de Majedoul.....                                | 247     |
| — 57. — Tableau comparatif des $r$ % dans les eaux de régions différentes.....                                  | 248     |
| — 58. — Tableau comparatif d'eaux du Nubien et du Dévono-Dinantien.....                                         | 249     |
| — 59. — Relevé des points d'eaux analysées de la région de Gatroun.....                                         | 252-253 |
| — 60. — Tableau des $r$ % dans les eaux de la région de Gatroun.                                                | 256     |
| — 61. — Relevé des points d'eaux analysées des régions du pourtour du Fezzan.....                               | 258-259 |
| — 62. — Tableau comparatif des $r$ % dans les eaux de la bordure septentrionale.....                            | 270     |
| — 63. — Tableau comparatif des analyses et $r$ % d'eaux du Crétacé supérieur.....                               | 272     |
| — 64. — Programme de travaux.....                                                                               | 298     |
| — 65. — Tableau des analyses de <i>natrons</i> du Fezzan.....                                                   | 305     |
| — 66. — Tableau des proportions de sels carbonatés.....                                                         | 305     |
| — 67. — Tableau des proportions de sels (%)......                                                               | 306     |
| — 68. — Répartition possible des minéraux constituant le <i>natron</i> fezzanais.....                           | 306     |
| — 69. — Tableau des productions de <i>natron</i> .....                                                          | 309     |
| — 70. — Analyses de quelques grès du Chati.....                                                                 | 311     |
| — 71. — Teneurs de quelques dépôts voisins de points d'eaux....                                                 | 312     |
| — 72. — Tableau des analyses de minerais de fer du Chati.....                                                   | 314     |



## LISTE DES FIGURES DANS LE TEXTE

|                                                                                                                                          | PAGES |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Fig. 1. — Diagramme des vents.....                                                                                                       | 16    |
| — 2. — Parcours effectués sur les terrains paléozoïques du Fezzan occidental.....                                                        | 25    |
| — 3. — Coupe de la série gothlandienne près du km. 45 de la route Serdelès-Ghat.....                                                     | 27    |
| — 4. — Coupe dans le Gothlandien et le Dévonien suivant le parallèle de Serdelès.....                                                    | 28    |
| — 5. — Parcours effectués sur les terrains paléozoïques du Fezzan septentrional.....                                                     | 32    |
| — 6. — Parcours effectués dans la région d'Aouinet-Ouennin (Fezzan septentrional).....                                                   | 34    |
| — 7. — Coupe de la série paléozoïque d'Aouinet-Ouennin.....                                                                              | 35    |
| — 8. — Coupe de la série tournaisienne dans le Fezzan occidental.....                                                                    | 39    |
| — 9. — Coupe de la série cénomaniennne visible à Aouinet-Ouennin.....                                                                    | 57    |
| — 10. — Zones dans lesquelles la silice secondaire apparaît préférentiellement sous forme de gel ou de quartz.....                       | 102   |
| — 11. — Emplacements approximatifs des coupes des forages du Chati..                                                                     | 147   |
| — 12. — Eaux du Chati. Diagramme logarithmique.....                                                                                      | 154   |
| — 13. — Eaux du Chati. Diagramme logarithmique.....                                                                                      | 156   |
| — 14. — Eaux du Chati. Diagramme logarithmique.....                                                                                      | 157   |
| — 15. — Eaux du Chati. Diagramme logarithmique.....                                                                                      | 158   |
| — 16. — Eaux du Chati. Diagramme logarithmique.....                                                                                      | 160   |
| — 17. — Effet d'un forage sur les surfaces d'équilibre des nappes exploitées, empilées, à niveau statique croissant en profondeur.....   | 166   |
| — 18. — Influence de deux sondages trop rapprochés sur les surfaces d'équilibre de nappes à niveau statique croissant en profondeur..... | 167   |
| — 19. — Coupe schématique dans le Bouanis.....                                                                                           | 170   |
| — 20. — Eaux du Bouanis. Diagramme logarithmique.....                                                                                    | 173   |
| — 21. — Eaux du Bouanis. Diagramme logarithmique.....                                                                                    | 175   |
| — 22. — Eaux du Bouanis. Diagramme logarithmique.....                                                                                    | 176   |



|                                                                        | PAGES |
|------------------------------------------------------------------------|-------|
| Fig. 23. — Coupe classique dans l'Ouadi el Ajal.....                   | 180   |
| — 24. — Eaux de l'Ouadi el Ajal. Diagramme logarithmique.....          | 189   |
| — 25. — Eaux de l'Ouadi el Ajal. Diagramme logarithmique.....          | 191   |
| — 26. — Eaux de l'Ouadi el Ajal. Diagramme logarithmique.....          | 192   |
| — 27. — Eaux de l'Ouadi el Ajal. Diagramme logarithmique.....          | 195   |
| — 28. — Eaux de l'Erg d'Oubari. Diagramme logarithmique.....           | 205   |
| — 29. — Eaux de l'Erg d'Oubari. Diagramme logarithmique.....           | 206   |
| — 30. — Eaux de l'Ouadi Heutba. Diagramme logarithmique.....           | 220   |
| — 31. — Eaux de l'Ouadi Heutba. Diagramme logarithmique.....           | 222   |
| — 32. — Eaux de la Hofra. Diagramme logarithmique.....                 | 234   |
| — 33. — Eaux de la Hofra. Diagramme logarithmique.....                 | 235   |
| — 34. — Eaux de la Hofra. Diagramme logarithmique.....                 | 237   |
| — 35. — Eaux de la Cherguya. Diagramme logarithmique.....              | 239   |
| — 36. — Eaux de la Cherguya. Diagramme logarithmique.....              | 240   |
| — 37. — Forages de la Hofra.....                                       | 241   |
| — 38. — Eaux de Majedoul. Diagramme logarithmique.....                 | 246   |
| — 39. — Eaux de Gatroun et environs. Diagramme logarithmique.....      | 254   |
| — 40. — Eaux de Gatroun et environs. Diagramme logarithmique.....      | 255   |
| — 41. — Eaux de la Bordure occidentale. Diagramme logarithmique.....   | 260   |
| — 42. — Eaux de la Bordure occidentale. Diagramme logarithmique.....   | 262   |
| — 43. — Eaux de la Bordure septentrionale. Diagramme logarithmique.... | 268   |
| — 44. — Eaux de la Bordure septentrionale. Diagramme logarithmique.... | 269   |
| — 45. — Eaux de la Bordure septentrionale. Diagramme logarithmique.... | 271   |
| — 46. — Analyses thermiques différentielles.....                       | 315   |
| — 47. — Analyses thermiques pondérales.....                            | 316   |

## LISTE DES PLANCHES HORS-TEXTE

---

CARTE GÉOLOGIQUE au 1/2.000.000° (Hors-texte, p. 3 de la couverture).

PLANCHE I : Esquisse structurale.

— II : Essai paléogéographique.

— III : Le Chati. — *Carte géologique au 1/500.000°.*

— IV : Le Chati. — *Carte hydrologique.*

— V : L'Ouadi el Ajal-Erg d'Oubari. — *Carte géologique au 1/500.000°.*

— VI : L'Ouadi el Ajal-Erg d'Oubari. — *Carte hydrologique.*

— VII : Ouadi Heutba, Hofra, Cherguya. — *Carte géologique au 1/500.000°.*

— VIII : Ouadi Heutba, Hofra, Cherguya. — *Carte hydrologique.*

— IX : Esquisse de la région de Gatroun.

— X : Environs de Ghadamès, Derj et Bir Ghzel.

— XI : Piste de Derj à Aouinet-Ouennin.

— XII : Bordures de la Cuvette fezzanaise (*coupes*).

— XIII : Transgressions.

— XIV : Coupes schématiques dans les terrains récents.

— XV : Coupes dans les terrains du Crétacé supérieur.

— XVI : Hydrologie du Fezzan.

— XVII : Coupes schématisées dans la surface d'équilibre du système fezzanais.

— XVIII-XXIV : Photographies.

— XXV-XXIX : Plaques minces.

— XXX : Granulométrie des sables.

— XXXI : Minerais de fer.

— XXXII et XXXIII : Fossiles.

---



## TABLE DES MATIERES

|                   | Pages |
|-------------------|-------|
| Avant-Propos..... | 5     |

### CHAPITRE I

#### Situation — Données géographiques

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 1. — Cadre géographique.....    | 11 |
| 2. — Géographie humaine.....    | 13 |
| 3. — Géographie physique.....   | 14 |
| 1. — La température.....        | 14 |
| 2. — Les vents.....             | 15 |
| 3. — Les pluies.....            | 16 |
| 4. — L'hygrométrie.....         | 18 |
| 4. — Géographie économique..... | 20 |

### PREMIERE PARTIE

#### ETUDE GEOLOGIQUE

### CHAPITRE II

#### Stratigraphie

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| 1. — Le Silurien inférieur.....         | 23 |
| 2. — Le Silurien supérieur.....         | 23 |
| a) Fezzan occidental.....               | 23 |
| Itinéraires.....                        | 24 |
| Etude stratigraphique.....              | 24 |
| Historique.....                         | 24 |
| Les schistes à <i>Graptolites</i> ..... | 26 |
| Les grès à <i>Harlania</i> .....        | 26 |
| Pendages.....                           | 27 |
| Epaisseur.....                          | 28 |
| Passage de faciès.....                  | 28 |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| b) Fezzan sud-oriental.....          | 28 |
| c) Fezzan septentrional.....         | 28 |
| d) En résumé.....                    | 29 |
| 3. — Le Dévonien.....                | 29 |
| a) Fezzan occidental.....            | 29 |
| Itinéraires.....                     | 29 |
| Etude stratigraphique.....           | 30 |
| La série stratigraphique.....        | 30 |
| Pendages — Epaisseurs.....           | 30 |
| b) Fezzan sud-oriental.....          | 30 |
| c) Fezzan septentrional.....         | 31 |
| 1. — Les Gargafs.....                | 31 |
| Itinéraires.....                     | 31 |
| Etude stratigraphique.....           | 31 |
| La série stratigraphique.....        | 31 |
| Pendages — Epaisseurs.....           | 33 |
| Les empreintes.....                  | 33 |
| 2. — La série d'Aouinet-Ouennin..... | 33 |
| Itinéraires.....                     | 34 |
| Etude stratigraphique.....           | 35 |
| Etude paléontologique.....           | 36 |
| Age de la formation.....             | 36 |
| d) En résumé.....                    | 37 |
| 4. — Le Dinantien.....               | 37 |
| 5. — Le Tournaisien.....             | 37 |
| a) Fezzan occidental.....            | 37 |
| Itinéraires.....                     | 38 |
| Etude stratigraphique.....           | 38 |
| Historique.....                      | 38 |
| La série stratigraphique.....        | 39 |
| a) Première phase marine.....        | 40 |
| b) Episode continental.....          | 40 |
| c) Deuxième phase marine.....        | 41 |
| Pendages — Epaisseurs.....           | 41 |
| Etude paléontologique.....           | 41 |



|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| b) Fezzan septentrional.....          | 42 |
| Itinéraires.....                      | 42 |
| Etude stratigraphique.....            | 43 |
| Historique.....                       | 43 |
| La série stratigraphique.....         | 43 |
| a) Grès continentaux des Gargafs..... | 44 |
| b) Première phase marine.....         | 44 |
| c) Episode continental.....           | 45 |
| d) Deuxième phase marine.....         | 46 |
| Pendages — Epaisseurs.....            | 47 |
| Etude paléontologique.....            | 47 |
| c) En résumé.....                     | 48 |
| 6. — Le Viséen.....                   | 49 |
| a) Fezzan occidental.....             | 49 |
| 1. — Dans la région de Serdelès.....  | 49 |
| Itinéraires.....                      | 49 |
| Etude stratigraphique.....            | 49 |
| Historique.....                       | 49 |
| La série stratigraphique.....         | 49 |
| 2. — Vers le Zegher au Nord.....      | 50 |
| 3. — Vers le col d'Anaï au Sud.....   | 50 |
| b) Fezzan sud-oriental.....           | 50 |
| 1. — Le djebel ben Guenemma.....      | 51 |
| Historique.....                       | 51 |
| La série stratigraphique.....         | 51 |
| Epaisseur.....                        | 51 |
| 2. — Le Fezzan sud-oriental.....      | 51 |
| c) Fezzan septentrional.....          | 52 |
| d) En résumé.....                     | 52 |
| 7. — Le Nubien.....                   | 52 |
| La série stratigraphique.....         | 53 |
| Pendages — Epaisseurs.....            | 54 |
| En résumé.....                        | 55 |

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 8. — Le Crétacé supérieur.....        | 55 |
| a) Au Sud du Fezzan.....              | 55 |
| b) Fezzan septentrional.....          | 56 |
| Itinéraires.....                      | 56 |
| Etude stratigraphique.....            | 56 |
| Le Cénomanién.....                    | 57 |
| Le Turonien.....                      | 57 |
| Le Sénonien inférieur.....            | 58 |
| Le Sénonien supérieur.....            | 58 |
| Pendages — Epaisseurs.....            | 58 |
| Etude paléontologique.....            | 59 |
| 9. — L'Eocène.....                    | 59 |
| 10. — Le Quaternaire.....             | 60 |
| a) Fezzan méridional.....             | 60 |
| b) Fezzan central.....                | 61 |
| c) Fezzan septentrional.....          | 62 |
| d) En résumé.....                     | 63 |
| 11. — Les formations récentes.....    | 63 |
| 1. — Les hamadas.....                 | 64 |
| 2. — Les sérirs.....                  | 65 |
| 3. — Les ergs.....                    | 66 |
| 4. — Les dépôts de feich-feich.....   | 66 |
| Etude pétrographique.....             | 66 |
| 5. — Les dépôts salés.....            | 68 |
| Localisation.....                     | 68 |
| Les sels.....                         | 69 |
| 12. — Les roches éruptives.....       | 71 |
| Epanchements.....                     | 71 |
| Etude pétrographique.....             | 72 |
| a) au Sud.....                        | 72 |
| b) au Nord.....                       | 72 |
| c) Les basaltes du Djebel Fezzan..... | 72 |
| Leur âge.....                         | 72 |
| 13. — Les calcaires de Mourzouk.....  | 73 |
| 1. — Historique.....                  | 73 |
| 2. — Les affleurements.....           | 73 |

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| 3. — Caractères communs à ces dépôts.....    | 78 |
| Homogénéité de leurs faciès.....             | 78 |
| Constance de l'altitude et localisation..... | 79 |
| 4. — Age de ces dépôts.....                  | 80 |
| 5. — En résumé.....                          | 80 |

## CHAPITRE III

**Descriptions paléontologiques**

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| a) Fossile du Silurien.....           | 81 |
| b) Fossiles du Dévonien.....          | 81 |
| Brachiopodes.....                     | 81 |
| c) Fossiles du Dinantien.....         | 84 |
| Arthropodes.....                      | 84 |
| Gastropodes.....                      | 85 |
| Scaphopodes.....                      | 85 |
| Lamellibranches.....                  | 85 |
| Brachiopodes.....                     | 86 |
| d) Fossiles du Crétacé supérieur..... | 88 |
| Lamellibranches.....                  | 88 |
| Céphalopodes.....                     | 89 |
| e) Fossiles du Quaternaire.....       | 89 |
| Gastropodes.....                      | 89 |
| Lamellibranches.....                  | 90 |

## CHAPITRE IV

**Pétrographie des Roches sédimentaires**

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| A. — Les grès.....                    | 91  |
| 1. — Le matériel.....                 | 91  |
| 2. — Les observations.....            | 92  |
| 3. — Les résultats.....               | 96  |
| Les grès opalisés ou ferrugineux..... | 96  |
| Les grès quartzifiés.....             | 97  |
| B. — Les calcaires.....               | 97  |
| 1. — Les observations.....            | 98  |
| 2. — Les résultats.....               | 101 |

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| 3. — Conclusion des études des grès et des calcaires..... | 102 |
| 1° Résumé des faits.....                                  | 102 |
| 2° Phénomènes de quartzification.....                     | 103 |
| 3° Phénomènes d'opatisation.....                          | 104 |
| C. — Les argiles.....                                     | 106 |
| 1. — Argiles gothlandiennes du Tanezzouft.....            | 106 |
| 2. — Argiles tournaisiennes continentales du Chati.....   | 107 |
| 3. — Argiles nubiennes de l'ouadi el Ajal.....            | 107 |
| 4. — Argiles du Paléogène sup. de Traghem.....            | 108 |
| D. — Les dépôts meubles.....                              | 108 |
| I. — Morphologie des grains de sable.....                 | 109 |
| 1. — Préparation.....                                     | 109 |
| 2. — Etudes.....                                          | 109 |
| 3. — Résultats.....                                       | 112 |
| II. — Etude granulométrique.....                          | 113 |
| Les sables.....                                           | 113 |
| Les feich-feich.....                                      | 115 |
| III. — Etude des minéraux lourds.....                     | 115 |
| 1. — Fréquence.....                                       | 118 |
| 2. — Association.....                                     | 118 |
| 3. — Répartition géographique.....                        | 119 |
| 4. — En résumé.....                                       | 120 |
| IV. — Conclusion.....                                     | 120 |

## CHAPITRE V

### Structure

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| a) La voussure des Gargafs.....                | 124 |
| b) Les bombements de l'O.S.O. et du S.S.E..... | 124 |
| c) Le goulet structural du Sud.....            | 125 |
| d) Le goulet structural de l'Est.....          | 125 |
| e) Conclusion.....                             | 126 |

## CHAPITRE VI

### Histoire géologique

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| a) La transgression cambro-silurienne.....                       | 127 |
| b) La régression du Silurien supérieur. Emersion Dévonienne..... | 128 |

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| c) Transgression de la fin du Dévonien et du Dinantien.....                      | 128 |
| d) Régression du Viséen supérieur. Période nubienne.....                         | 129 |
| e) Transgression cénomanienn.....                                                | 129 |
| f) Régression du Crétacé supérieur. Transgression éocène. Période d'érosion..... | 130 |
| g) Régression éocène. Période de comblement et lagunaire.....                    | 130 |
| h) Les périodes humides.....                                                     | 131 |
| i) En résumé.....                                                                | 132 |

## DEUXIEME PARTIE

### ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

#### CHAPITRE VII

##### Etudes régionales

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| LE CHATL.....                                              | 139 |
| 1. — Situation géologique.....                             | 139 |
| 2. — Hydrologie.....                                       | 140 |
| a) Description des points d'eaux.....                      | 140 |
| 1. — Eau artésienne basse.....                             | 140 |
| 2. — Eau artésienne élevée.....                            | 140 |
| 3. — Les puits classiques.....                             | 141 |
| 4. — Les sondages.....                                     | 141 |
| a) par battage « à mains ».....                            | 141 |
| b) à injection de boue.....                                | 142 |
| b) Répartition des points d'eaux.....                      | 143 |
| c) Etude des caractéristiques physiques et dynamiques..... | 143 |
| 1. — Température des eaux.....                             | 146 |
| 2. — Variations des niveaux statiques.....                 | 146 |
| 3. — Variations de débits.....                             | 148 |
| 4. — Pertes latérales.....                                 | 149 |
| 5. — En résumé.....                                        | 151 |



|                                                         |     |
|---------------------------------------------------------|-----|
| <i>d)</i> Etude des caractéristiques chimiques.....     | 151 |
| 1. — Teneurs en sels. Résidus secs.....                 | 151 |
| 2. — Principes de l'étude des résultats d'analyses..... | 152 |
| 3. — Etude des diagrammes et résultats d'analyses.....  | 153 |
| 4. — En résumé.....                                     | 160 |
| 3. — Hydrogéologie.....                                 | 161 |
| <i>a)</i> Caractères et cote de la roche-magasin.....   | 161 |
| <i>b)</i> Niveau statique de la nappe.....              | 163 |
| <i>c)</i> Débit.....                                    | 164 |
| <i>d)</i> En résumé et conclusion.....                  | 165 |
| LE BOUANIS.....                                         | 167 |
| 1. — Situation géologique.....                          | 170 |
| 2. — Hydrologie.....                                    | 170 |
| <i>a)</i> Les points d'eau.....                         | 170 |
| 1. — Description. Répartition.....                      | 170 |
| 2. — Les niveaux statiques.....                         | 172 |
| <i>b)</i> Les résultats d'analyses.....                 | 172 |
| 1. — Teneurs en sels. Résidus secs.....                 | 172 |
| 2. — Etude des diagrammes.....                          | 173 |
| 3. — Hydrogéologie.....                                 | 177 |
| 4. — Comparaison avec les régions voisines.....         | 178 |
| L'OUADI EL AJAL.....                                    | 179 |
| 1. — Situation géologique.....                          | 181 |
| 2. — Hydrologie.....                                    | 186 |
| <i>a)</i> Les points d'eau.....                         | 186 |
| 1. — Description. Répartition.....                      | 186 |
| 2. — Les niveaux statiques.....                         | 188 |
| <i>b)</i> Les résultats d'analyses.....                 | 189 |
| <i>c)</i> Le sondage de Ghreifa.....                    | 194 |
| 3. — Hydrogéologie.....                                 | 196 |
| 4. — Comparaison avec les régions voisines.....         | 198 |
| L'ERG D'OUBARI.....                                     | 199 |
| 1. — Situation géologique.....                          | 202 |
| 2. — Hydrologie.....                                    | 203 |

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| a) Les puits.....                                                | 203 |
| 1. — Description.....                                            | 203 |
| 2. — Résidus secs. Teneurs en sels.....                          | 204 |
| b) Les lacs.....                                                 | 207 |
| 1. — Description.....                                            | 207 |
| 2. — Les analyses. Teneurs en sels.....                          | 211 |
| 3. — Hydrogéologie et comparaison avec les régions voisines..... | 213 |
| <br>L'OUADI HEUTBA.....                                          | 215 |
| 1. — Situation géologique.....                                   | 216 |
| 2. — Hydrologie.....                                             | 217 |
| a) Description des points d'eaux.....                            | 217 |
| b) Les analyses.....                                             | 220 |
| 3. — Hydrogéologie.....                                          | 222 |
| 4. — Comparaison avec les régions voisines.....                  | 224 |
| <br>LA HOFRA et LA CHERGUYA.....                                 | 225 |
| 1. — Situation géologique.....                                   | 225 |
| 2. — Hydrologie.....                                             | 230 |
| a) Description des points d'eaux.....                            | 230 |
| 1. — Les puits.....                                              | 230 |
| 2. — Les aioune..                                                | 231 |
| 3. — Les sondages.....                                           | 232 |
| b) Niveaux statiques. Nappes.....                                | 232 |
| c) Les analyses.....                                             | 233 |
| 1. — La Hofra.....                                               | 233 |
| 2. — La Cherguya.....                                            | 238 |
| 3. — Hydrogéologie.....                                          | 241 |
| <br>LA REGION DE MAJEDOUL.....                                   | 243 |
| 1. — Situation géologique.....                                   | 244 |
| 2. — Hydrologie.....                                             | 245 |
| 3. — Hydrogéologie.....                                          | 245 |
| 4. — Comparaison avec les autres régions.....                    | 247 |

|                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|
| REGION DE GATROUN.....                                           | 249 |
| 1. — Situation géologique.....                                   | 250 |
| 2. — Hydrologie.....                                             | 251 |
| a) Les points d'eaux.....                                        | 251 |
| b) Les analyses.....                                             | 251 |
| 3. — Hydrogéologie et comparaison avec les régions voisines..... | 256 |
| REGIONS DU POURTOUR DU FEZZAN.....                               | 257 |
| 1. — Bordure orientale.....                                      | 257 |
| 2. — Bordure méridionale.....                                    | 257 |
| 3. — Bordure occidentale.....                                    | 257 |
| a) Ghat.....                                                     | 257 |
| b) Au Nord de Ghat.....                                          | 261 |
| c) Serdelès.....                                                 | 261 |
| d) Au Nord de Serdelès.....                                      | 263 |
| e) Conclusion.....                                               | 264 |
| 4. — Bordure septentrionale.....                                 | 266 |

## CHAPITRE VIII

### Hydrologie

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| I. — Systèmes hydrauliques en présence.....      | 274 |
| 1. — Terrains récents (post-crétacés).....       | 274 |
| 2. — Crétacé supérieur.....                      | 275 |
| 3. — Nubien.....                                 | 276 |
| a) Généralités sur le comportement chimique..... | 276 |
| b) Comportement dynamique.....                   | 277 |
| c) En résumé.....                                | 277 |
| 4. — Le Dévonien-Dinantien.....                  | 278 |
| 5. — Le Silurien.....                            | 280 |
| 6. — Conclusion.....                             | 281 |
| II. — Alimentation. — Débit.....                 | 283 |
| 1. — Alimentation.....                           | 283 |
| 2. — Débit.....                                  | 287 |

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| III. — Conclusions — Captages — Exploitation — Reconnaissances..... | 288 |
| 1. — Les captages en général.....                                   | 289 |
| 2. — Exploitation.....                                              | 290 |
| a) Le Chati.....                                                    | 291 |
| b) Le Bouanis, l'Ouadi el Ajal, la région de Majedoul....           | 292 |
| c) La région de Traghem.....                                        | 292 |
| d) L'ouadi Heutba, Hofra, Cherguya, Gatroun.....                    | 293 |
| e) Les régions de Serdelès et Ghat.....                             | 293 |
| 3. — Reconnaissance — Intérêt général.....                          | 293 |
| a) Région septentrionale.....                                       | 294 |
| b) Région orientale.....                                            | 294 |
| c) Région centrale.....                                             | 295 |
| d) Régions occidentales.....                                        | 295 |
| e) Régions méridionales et sud-orientales.....                      | 296 |
| 4. — Reconnaissance — Intérêt régional.....                         | 296 |
| a) Chati, Bouanis, Ouadi el Ajal, Majedoul.....                     | 296 |
| b) Ouadi Heutba, Ouadi el Ajal, Majedoul.....                       | 296 |
| c) Régions de Serdelès, Ghat.....                                   | 297 |
| d) Autres régions.....                                              | 297 |
| 5. — Résumé et conclusion.....                                      | 297 |

### TROISIEME PARTIE

#### RESSOURCES MINERALES

##### CHAPITRE IX

###### Le natron

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 1. — Les gisements..... | 303 |
| 2. — Les sels.....      | 304 |
| 3. — Origine.....       | 306 |
| 4. — Prospection.....   | 308 |
| 5. — Production.....    | 308 |

##### CHAPITRE X

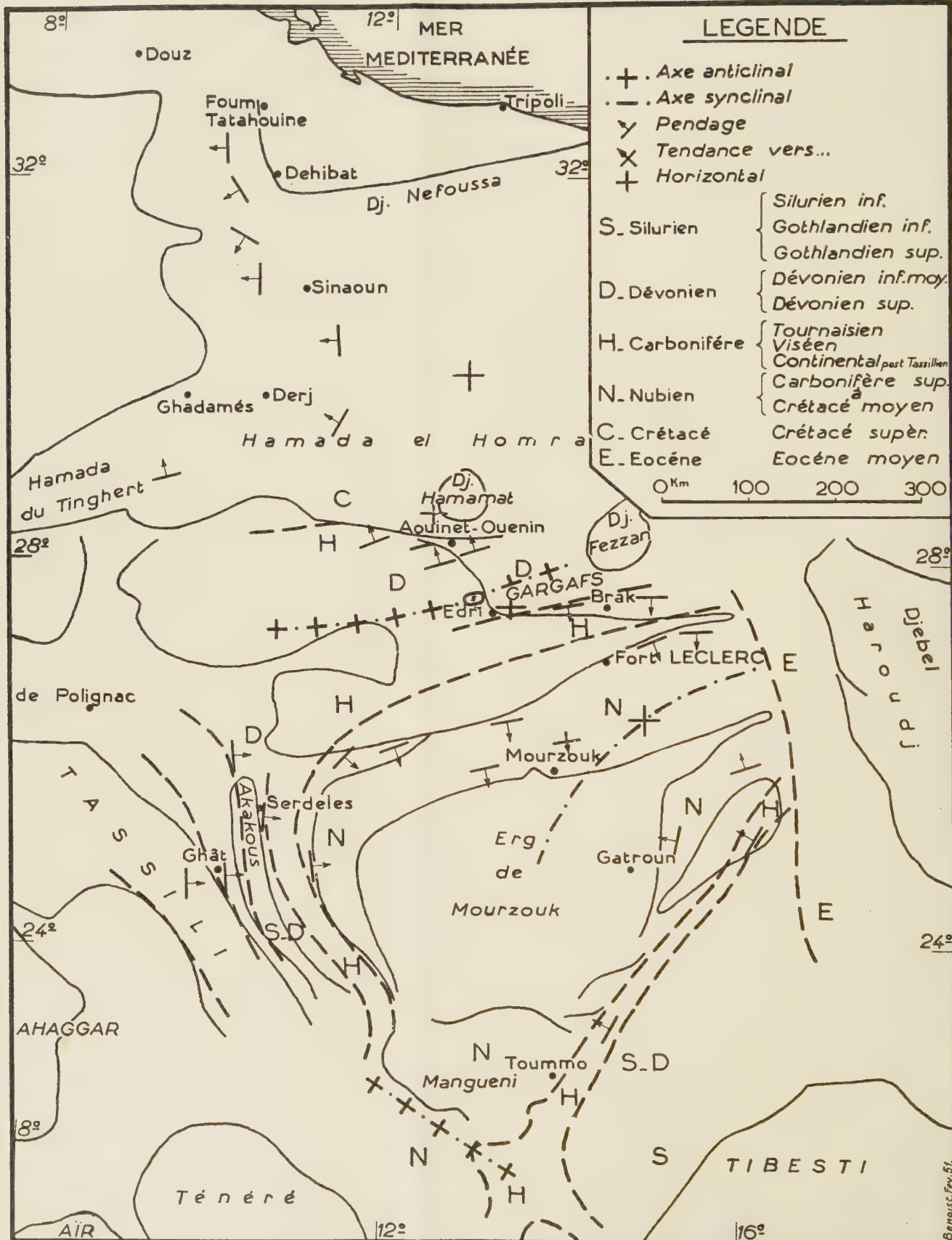
###### Le fer

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 1. — Situation géologique..... | 312 |
| 2. — Etude chimique.....       | 313 |

# ESQUISSE STRUCTURALE

0 km 100 200 300 400 500 km

Pl. I



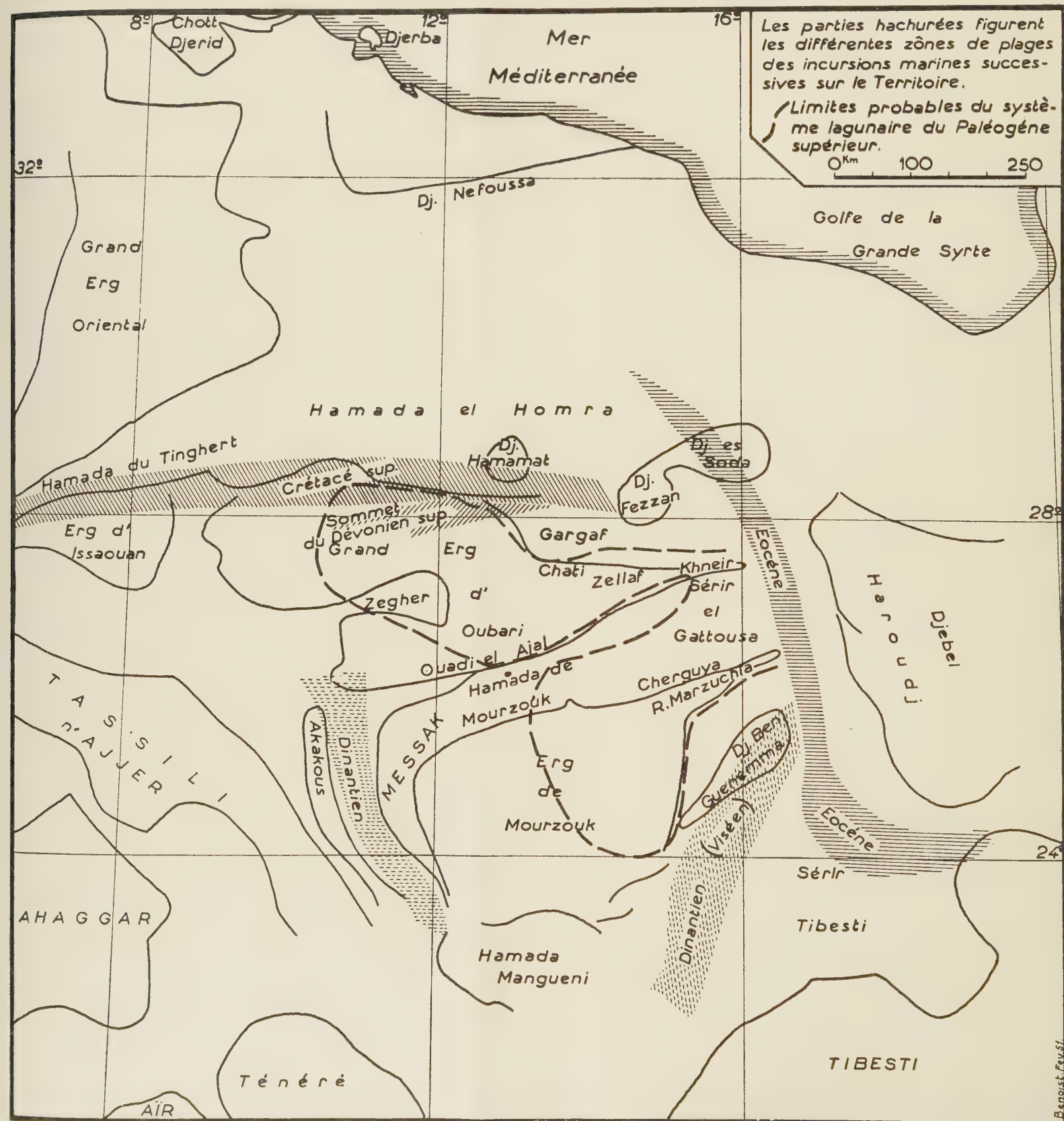




# ESSAI PALÉOGÉOGRAPHIQUE

0 km 250 500 750 km

Pl. II





## Pl. III







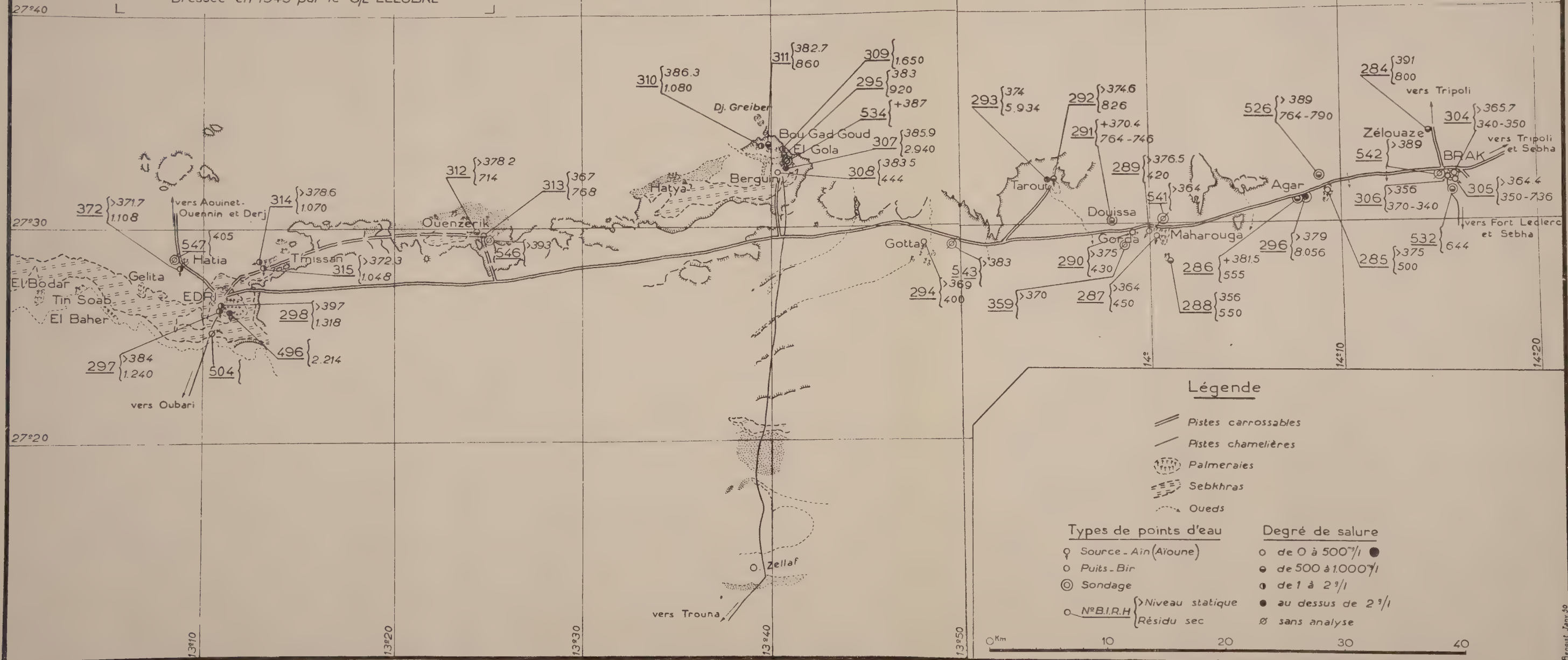
# LE CHATI



Pl. IV

D'après la "Carte de reconnaissance du CHATI"

Dressée en 1945 par le S/Lt LELUBRE







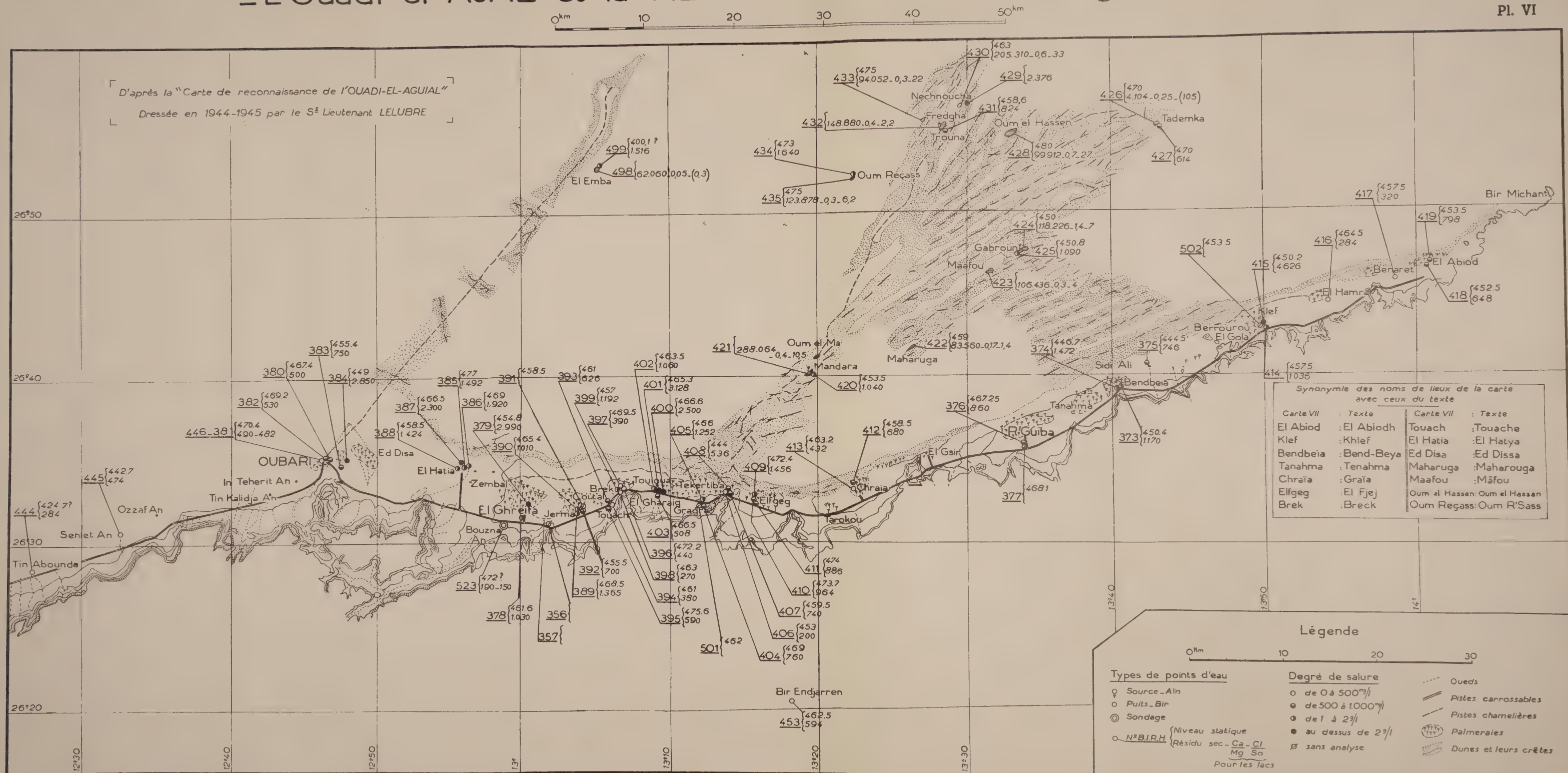
## Pl. V





# -L'Ouadi el AJAL et la REGION des LACS de l'Erg d'OUBARI-

Pl. VI

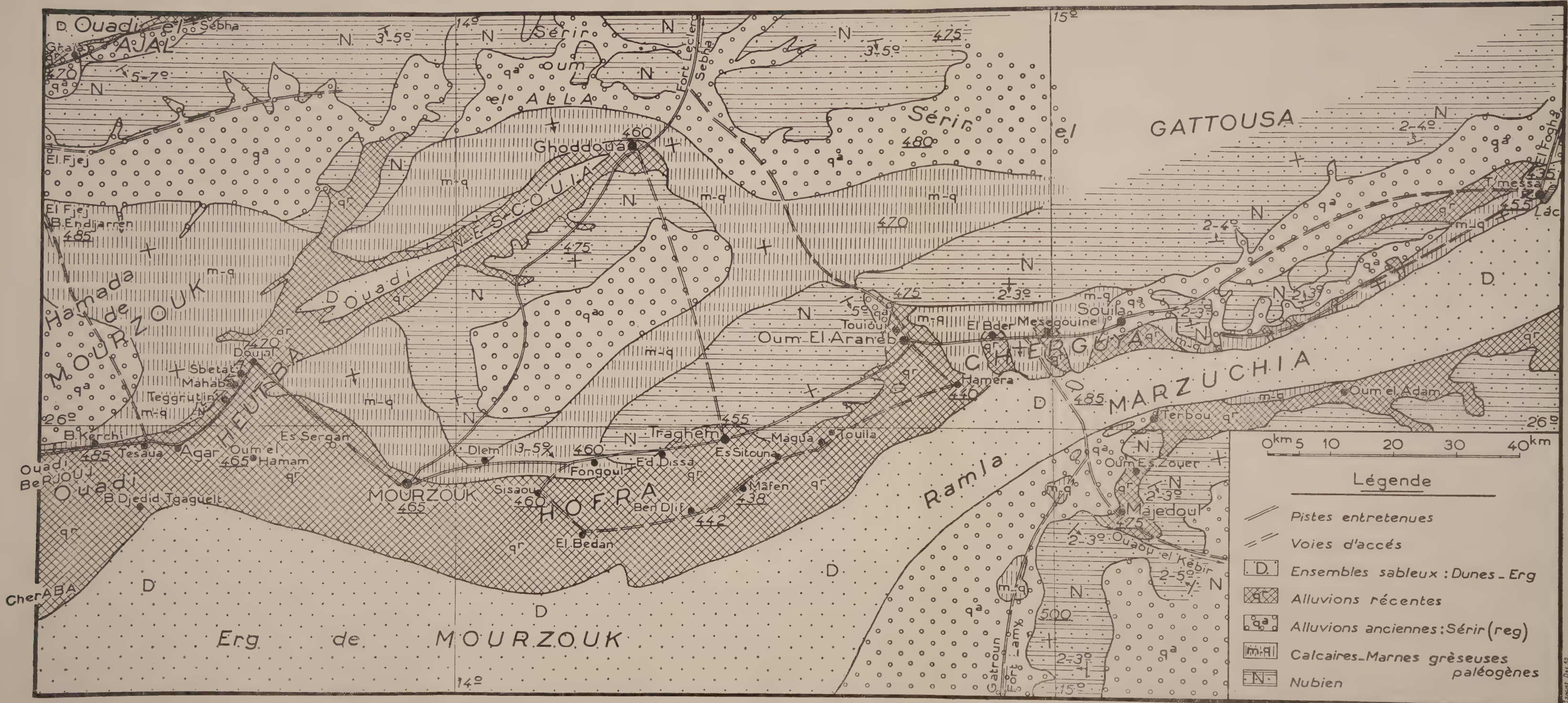






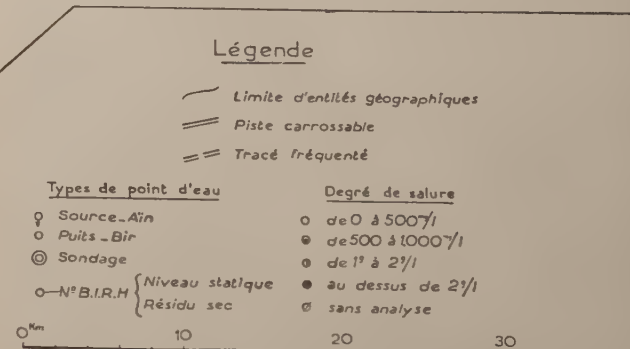
# \_OUADI HEUTBA - HOFRA - CHERGUYA -

Pl. VII



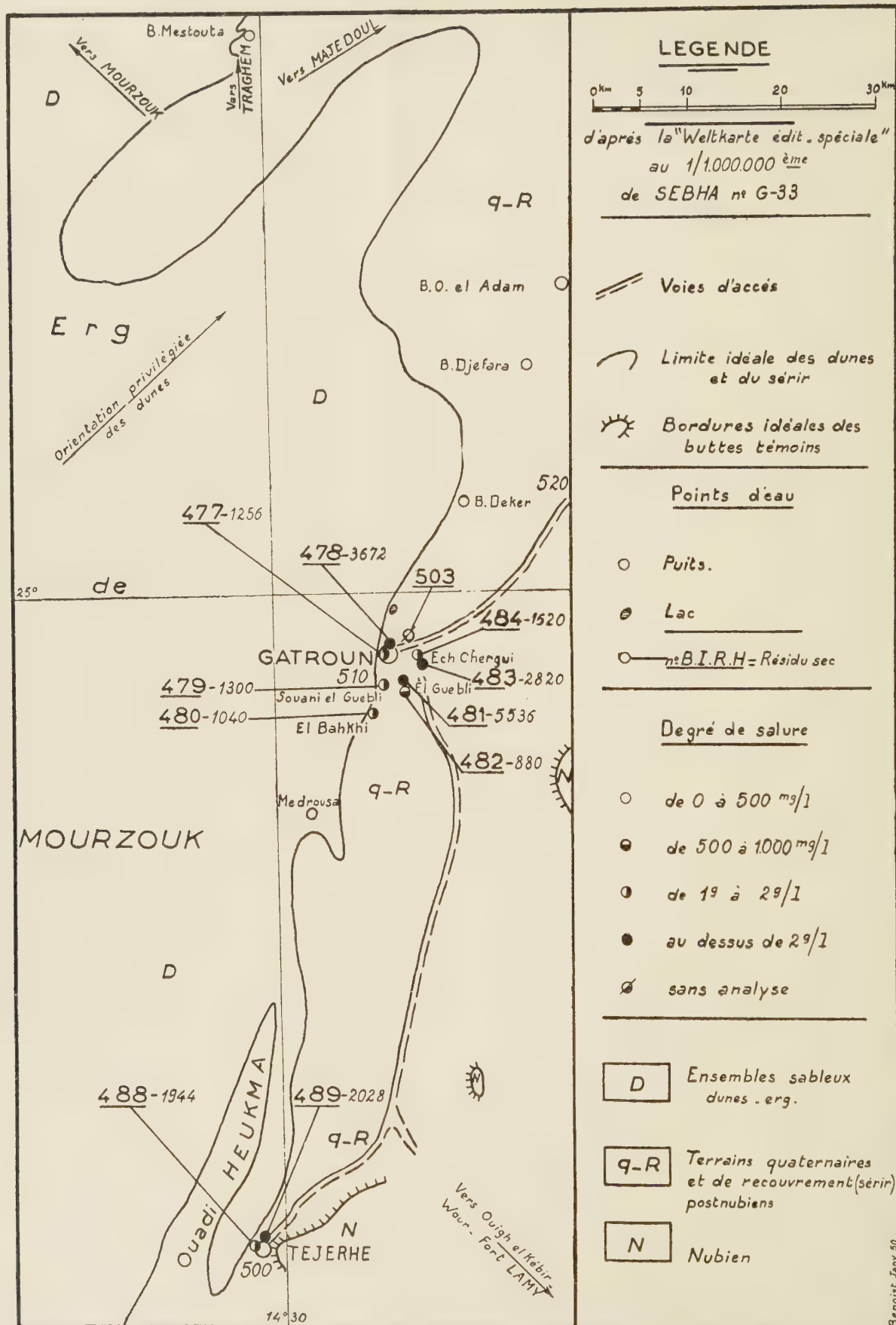








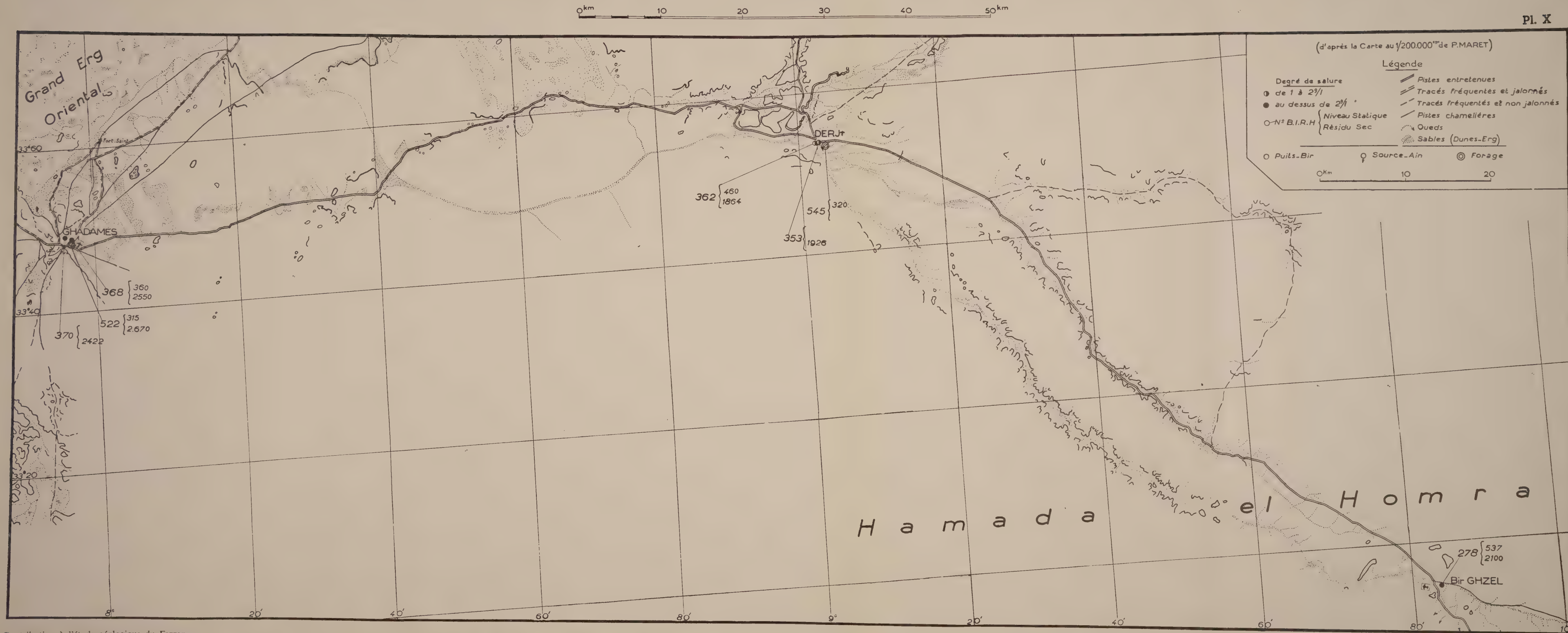






# — Environs de GHADAMES-DERJ et Bir GHZEL —

Pl. X





## \_PISTE de Bir GHZEL à AOU



d'après le "Trajet de DERJ à Fort LECLERC" de P.MARET

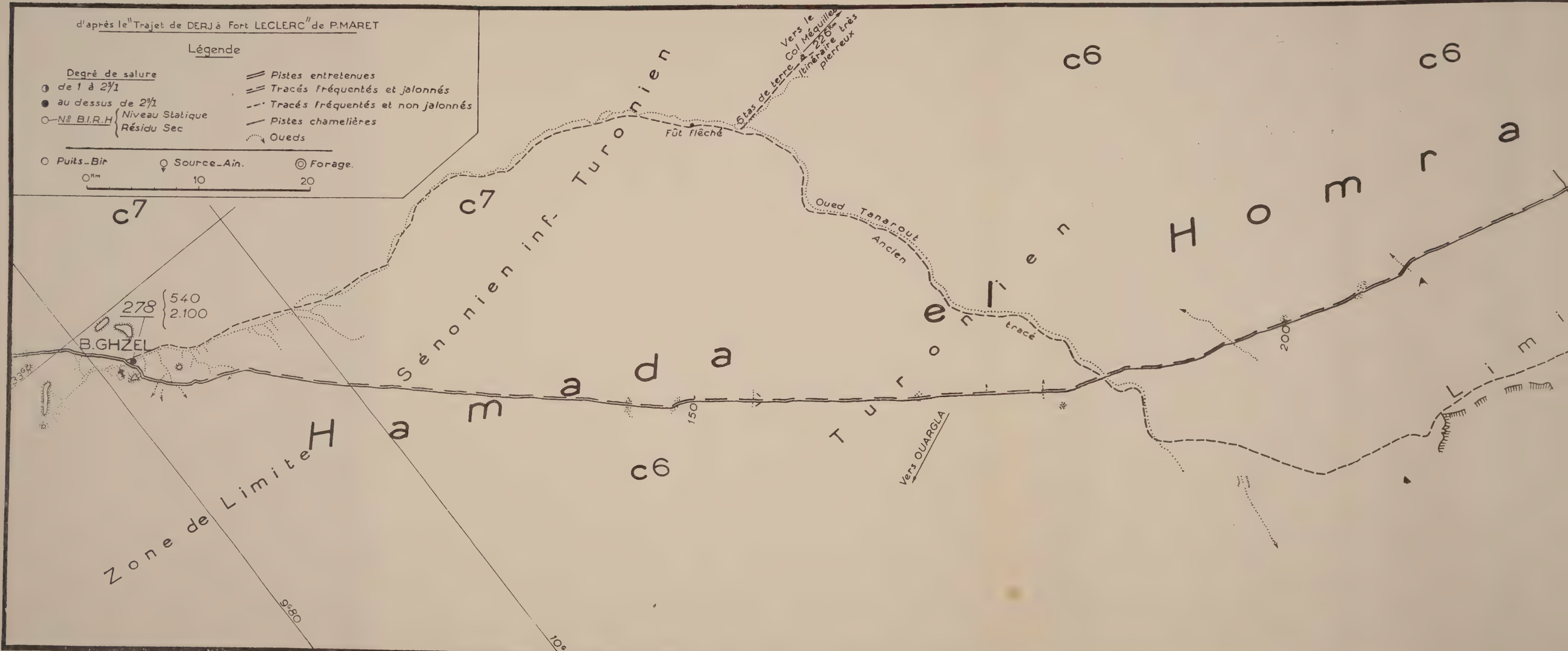
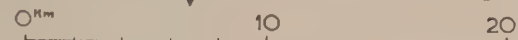
### Légende

Degré de salure

- ① de 1 à 2 1/1
- au dessus de 2 1/1
- — N° B.I.R.H. { Niveau Statique  
Réidu Sec

- == Pistes entretenues
- == Tracés fréquentés et jalonnés
- - Tracés fréquentés et non jalonnés
- Pistes chamelières
- Queds

○ Puits-Bir      ♀ Source-Ain.      ⊙ Forage.

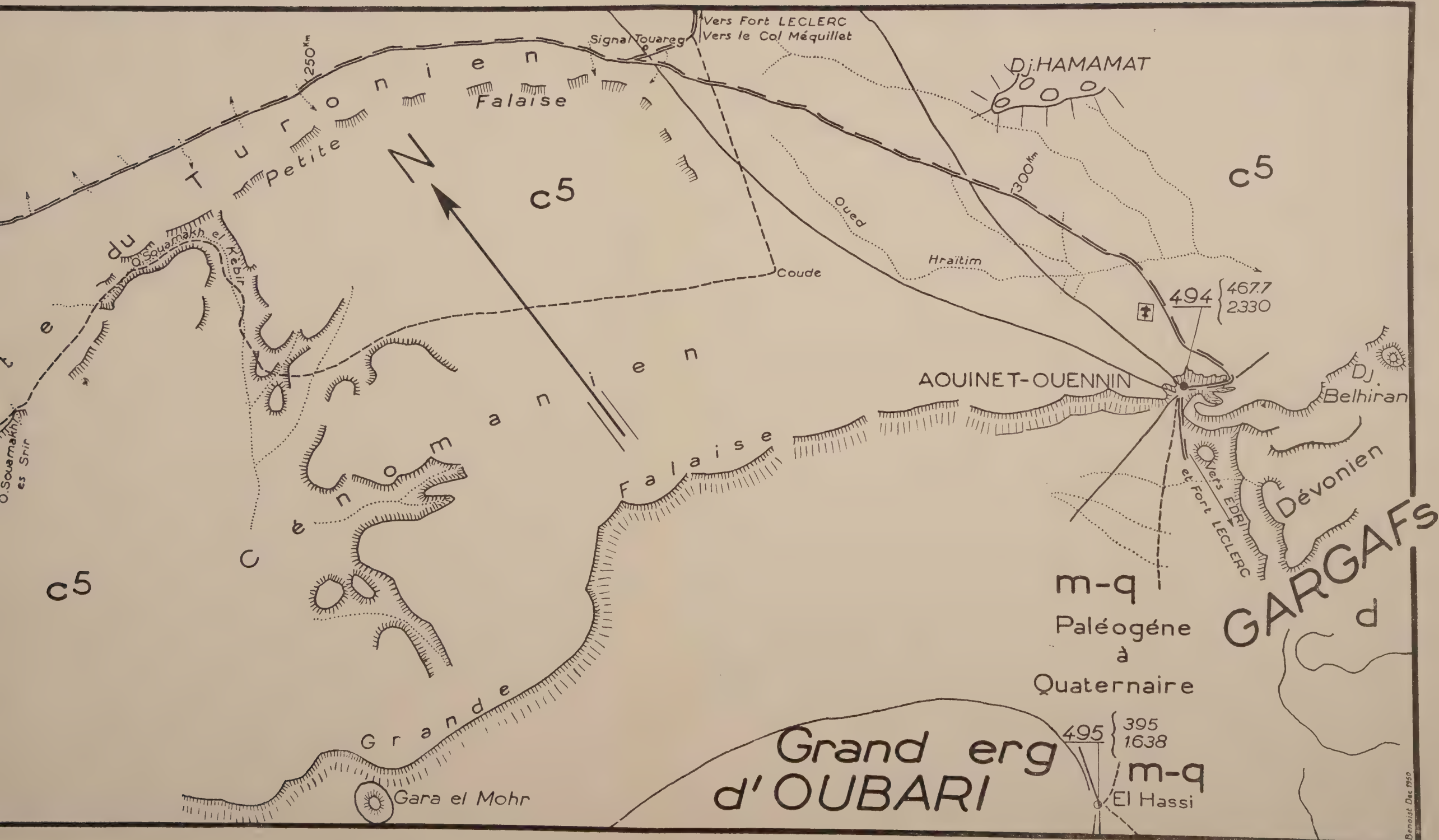




# INET-OUENNIN-

50km

Pl. XI



Benoist Dec 1950

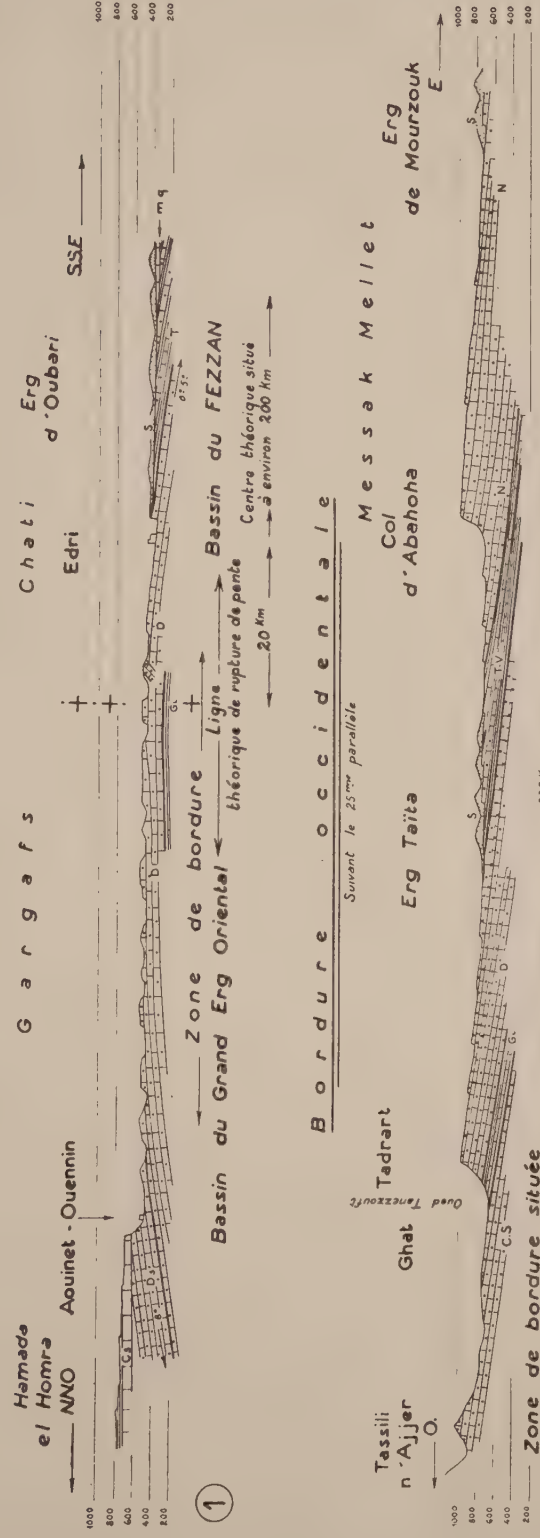
# BORDURES DE LA CUVETTE FEZZANAISE

## Coupes schématiques

Echelle : 0 25 50 75 100 125

### Bordure septentrionale

Sensiblement parallèle au 13<sup>ème</sup> méridien



### Bordure méridionale

Suivant le 13<sup>ème</sup> méridien

des eaux (carte 1/100.000)

Ligne de partage vers l'Est

TOUMMO à 100 km

Centre théorique de la cuvette à environ 200 km vers l'Est

Zone de bordure Bassin de Bilma

Ligne de rupture de pente

Bassin du FEZZAN

Centre théorique situé à environ 300 km

Bordure orientale

Suivant le 27<sup>ème</sup> parallèle

Sérir el Gattoua

Dor el Gani

Heroudj

Vers la gouttière éocène

Zone de bordure

Bordure indéterminée

Suivant le 25<sup>ème</sup> parallèle

Dépression de Gabroun

Erg de Mourzouk

Djebel ben Guenemma

Meherchema

Zone de bordure

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15

30

45

60 km

15



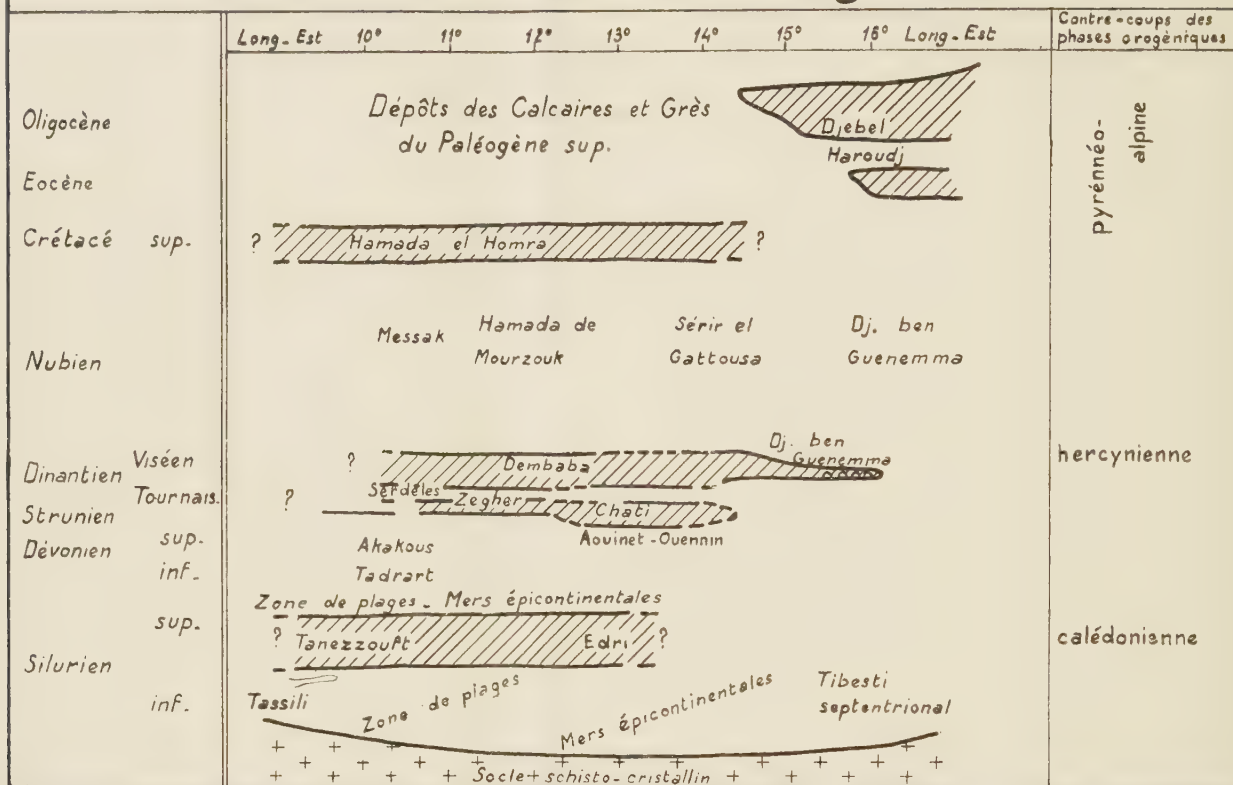


# TRANSGRESSIONS

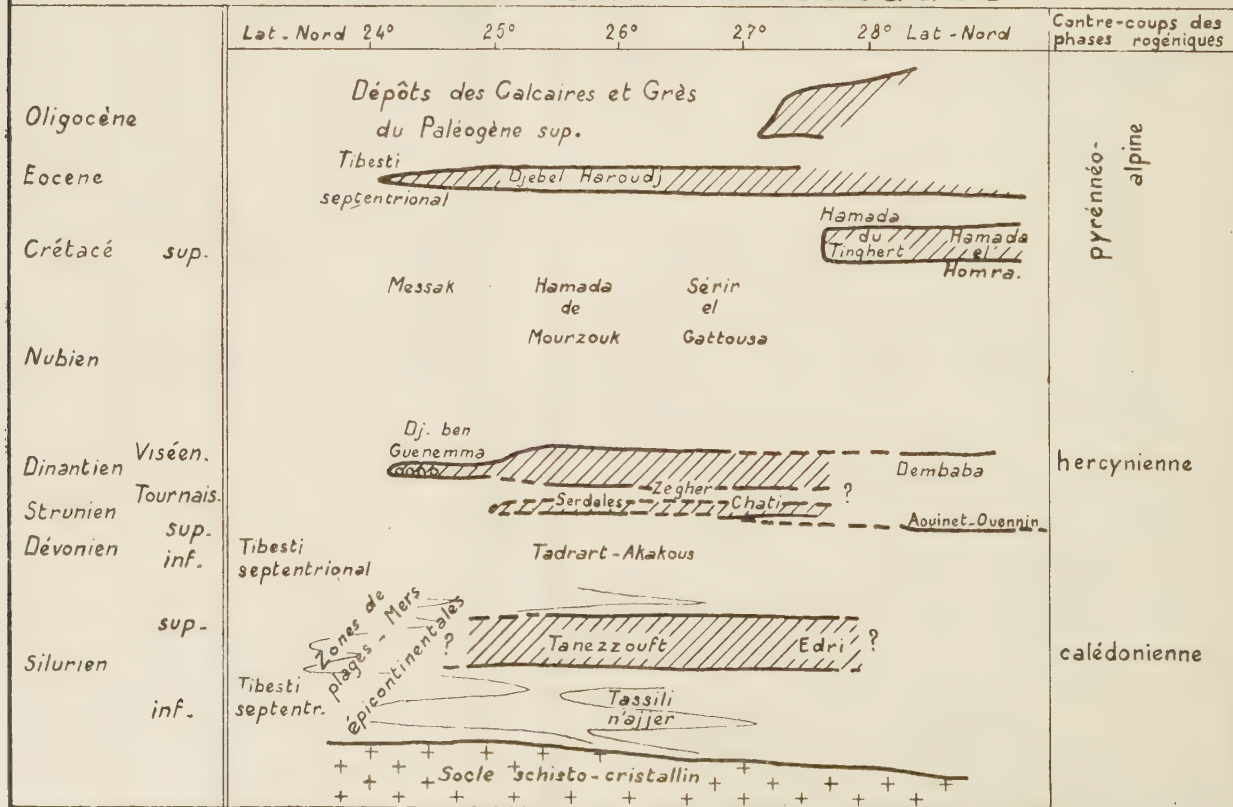
(en hachures, les formations marines)

Pl. XIII

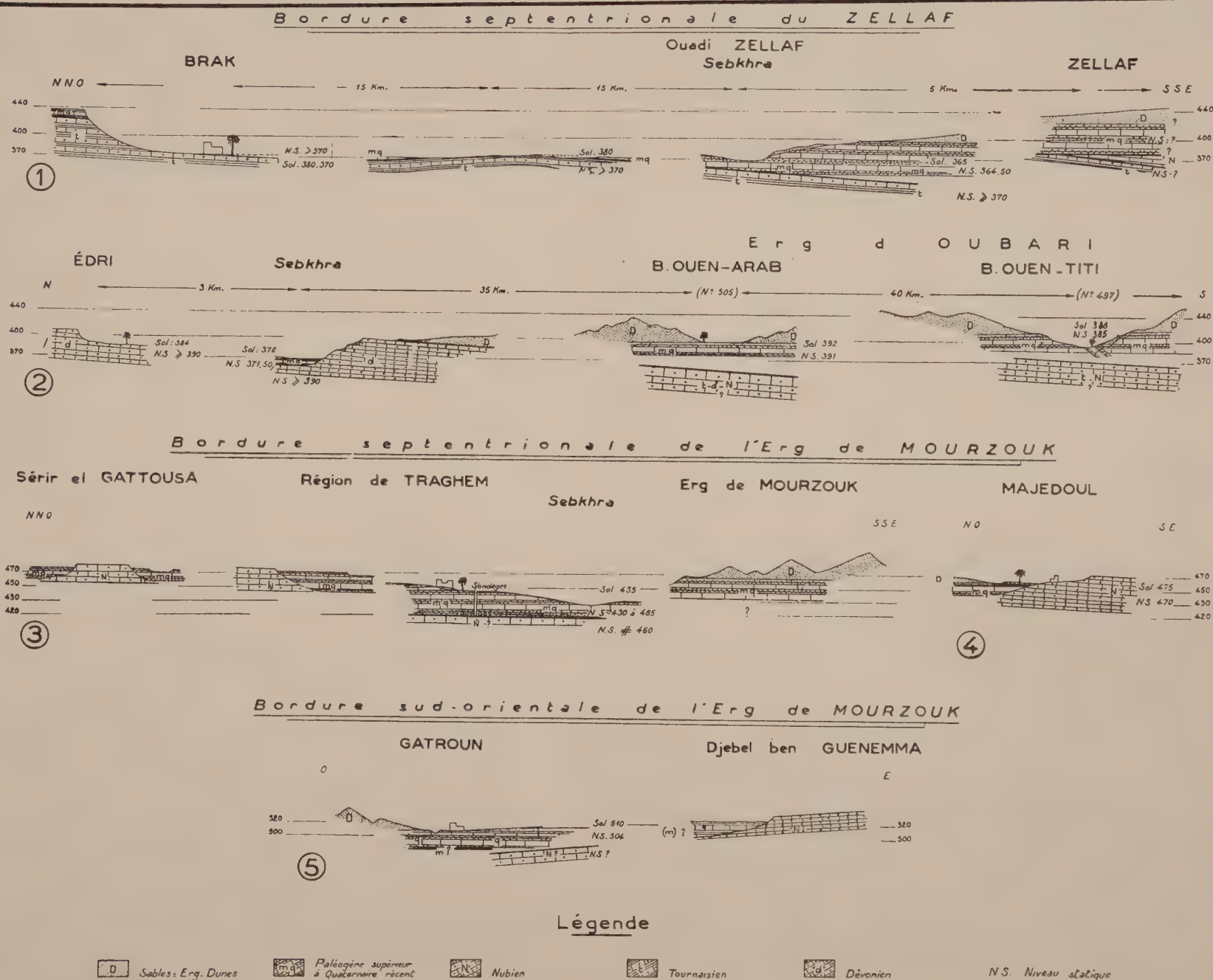
## Limites suivant les longitudes



## Limites suivant les latitudes

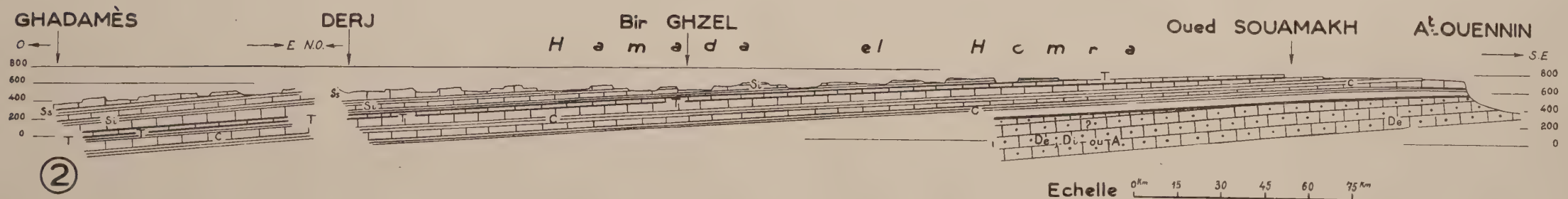
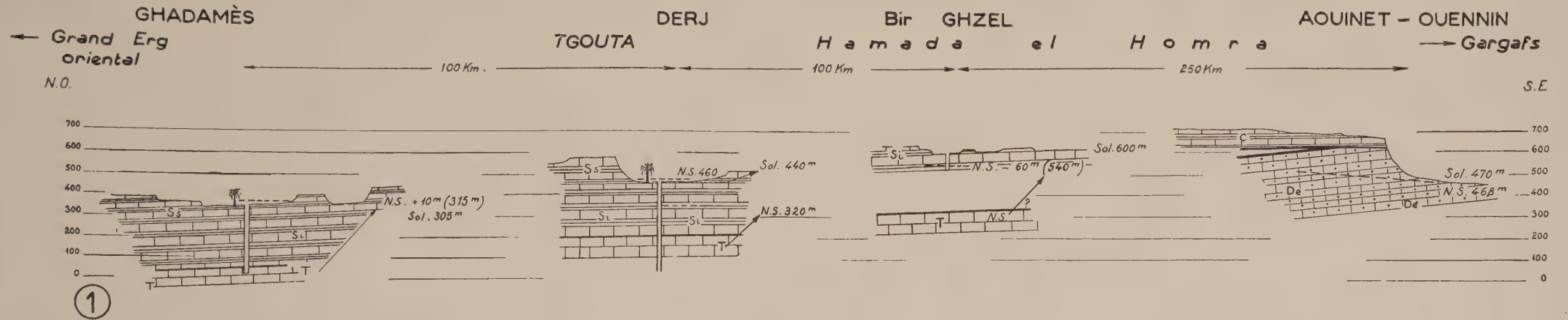


# COUPES SCHÉMATIQUES DANS LES TERRAINS RÉCENTS





# COUPES DANS LES TERRAINS DU CRÉTACÉ SUPÉRIEUR



## Légende

Dévonien supérieur (gréseux)

Albien (gréseux)

Turonien calcaire

Sénonien supérieur

Dinantien

Cénomaniens et Turonien inférieur marneux

Turonien supérieur marneux Sénonien inférieur

N.S. Niveau statique





# HYDROLOGIE DU FEZZAN

Echelle : 0 km 40 80 120 160 Km



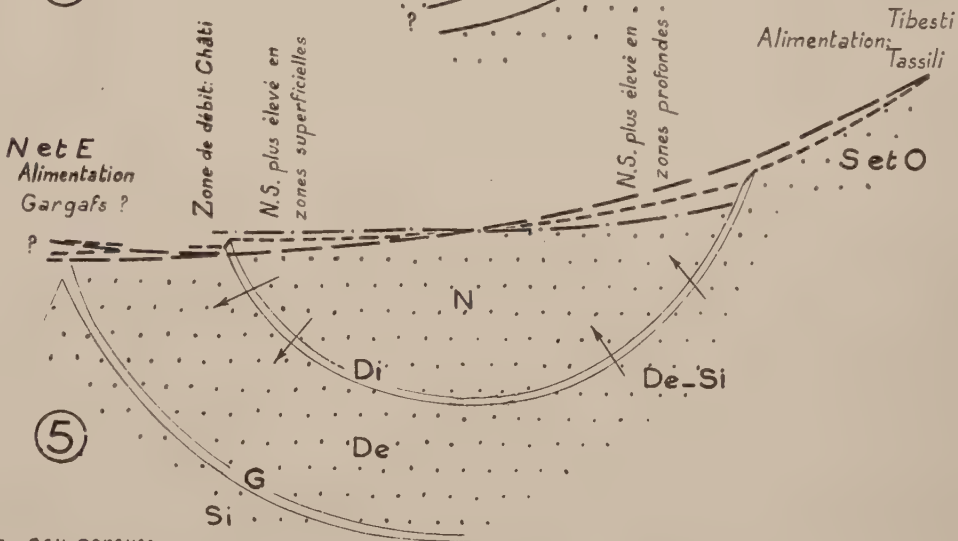
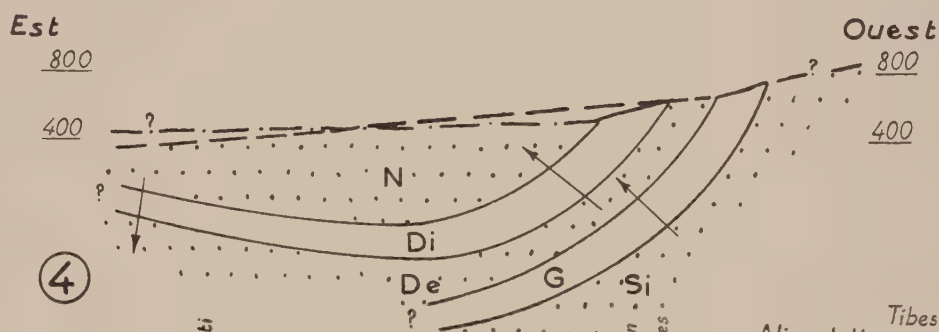
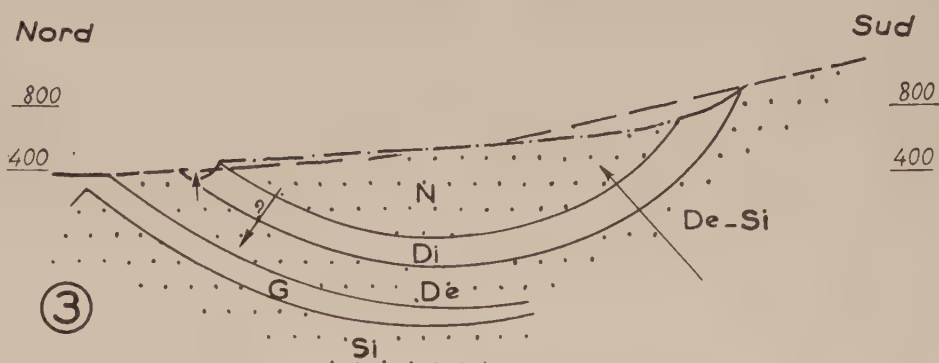
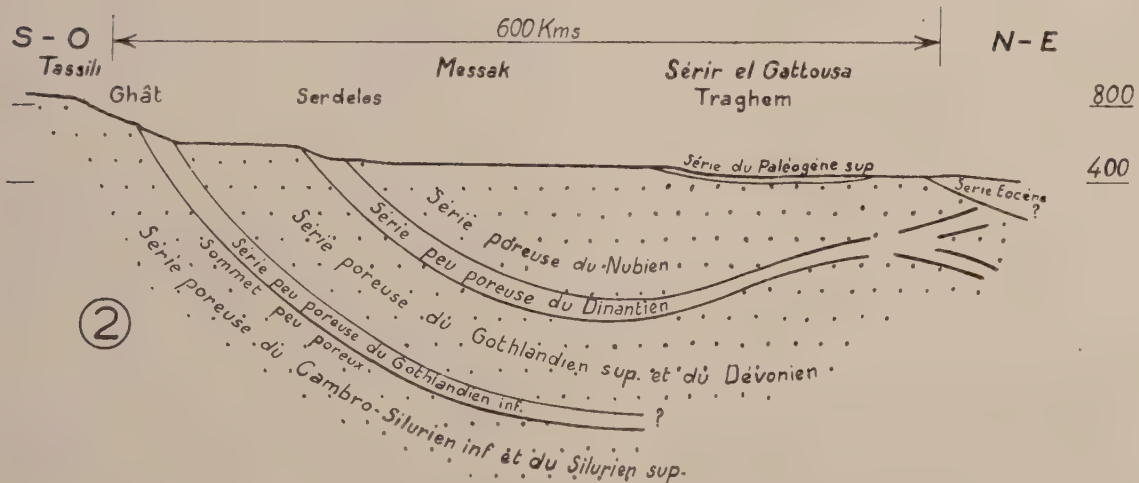
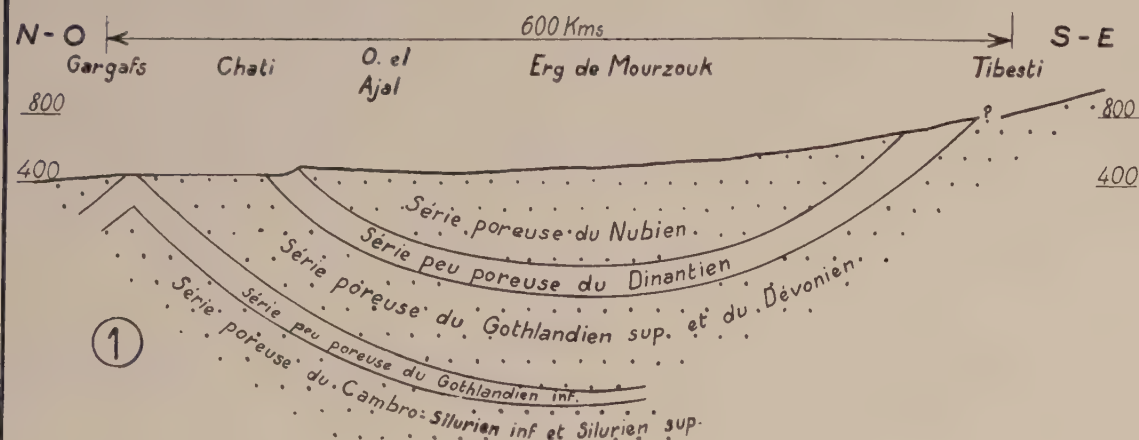
## Légende

- C Système du crétacé supérieur (Turonien)
- N Système du nubien
- D Système du gothlandien supérieur-dévonien et vers le sud du cambro-silurien-dévonien
- Affleurements dinantiens du CHATI (couches peu poreuses)
- Limites des systèmes hydrauliques
- Limite de bassins hydrauliques
- Ecoulements des nappes (perpendiculaires aux courbes au maximum d'écartement)
- Axe anticlinal
- Axe synclinal
- Contours géographiques
- Courbes topographiques (1000-500)
- Courbes isopièzes (700, 600, 540, 500, 480, 460, 450, 430, 410, 400, 380, 360)
- Courbes rapprochées - Pas d'écoulement
- Courbes rapprochées - Zone de débit
- Ecoulement possible à partir du N et du NE

0 km 40 80 120 160



# COUPES SCHEMATISEES dans la SURFACE d'EQUILIBRE du SYSTEME FEZZANAIS



m-q Série du Paléogène sup. peu poreuse

[N] Série nubienne poreuse [Di] Série dinantienne peu poreuse [De] Série dévonienne poreuse [G] Série gothlandienne peu poreuse [Si] Série cambro-silurienne poreuse

[ ] Faciès peu poreux

— Surface libre théorique du syst. dévonien. — Surface libre théorique du syst. nubien. --- Surface libre du système fezzanaï. (et vers le sud du syst. cambro-silurien, dévonien)

R. Muller, Feuga. Contribution à l'Etude du Fezzan.

(Les épaisseurs sont également schématisées)





## **Planches**

---



**Planche XVIII**

## LEGENDE DE LA PLANCHE XVIII

### 1. — ARGILES GOTHLANDIENNES.

Butte d'argile. Bancs gréseux au sommet, inclinés vers l'Est. — *Km. 72 de la route Ghat-Serdelès (au premier plan).*

### 2. — L'AKAKOUS.

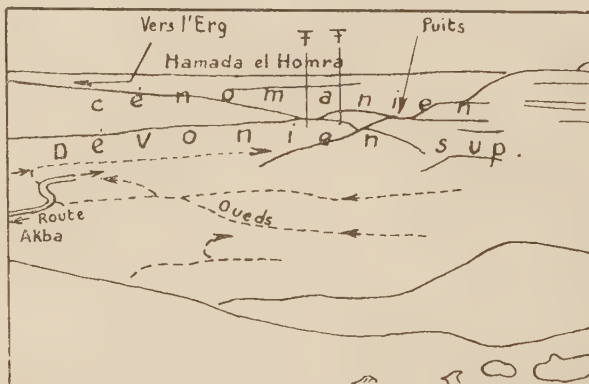
Alternances de bancs d'argiles et de grès gothlandiens à la base. Barre de grès à *Harlania* au sommet.

### 3. — LE VILLAGE DE T'MISSAN (*Chati occidental*).

Il est construit sur et dans une butte de grès et argiles du Dévonien. Les affleurements à « empreintes » se trouvent à 1 km. à droite.

### 4. — AOUNET-OUENNIN.

La discordance du Cénomaniens sur le Dévonien supérieur marin inclinée vers le N NO. (Photo prise du sommet de la Hamada el Homra en direction OSO) (cf. fig. 6, p. 34).



### 5. — L'OUADI EL AJAL.

Rebord de la falaise nubienne qui, à hauteur de Ghreifa domine l'Ouadi. On discerne le pendage faible vers le Sud qui va en s'amointrissant dans cette direction. Le plateau est horizontal: c'est la Hamada de Mourzouk. Au fond à gauche, l'alignement des oasis et des dentelures de la falaise (*Vue prise d'avion durant le trajet Oubari-Mourzouk*).

### 6. — LA HAMADA EL HOMRA.

Un ravin dans les terrains horizontaux. Le sol du plateau est globalement plat, parfois rocaillieux. Au fond du ravin se trouve la rare végétation (*Vue prise d'avion durant le trajet Fort Leclerc-Tripoli*).



1



2



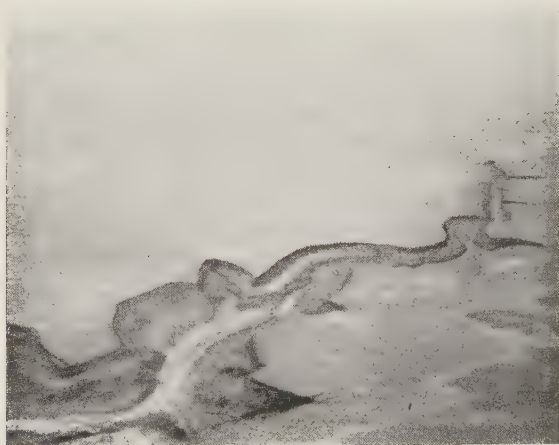
3



4



5



6





**Planche XIX**

## LEGENDE DE LA PLANCHE XIX

---

1, 2. — CHATI, AU NE DE BRAK.

La discordance des calcaires gréseux et des grès argileux du Paléogène supérieur sur les couches de grès et argiles du Tournaisien. Celles-ci sont faiblement inclinées vers le Zellaf, vers le Sud; ceux-là le sont plus faiblement encore.

3. — BORDURE SEPTENTRIONALE DU ZELLAF.

A gauche la Sebkhra et la végétation halophile résultant de la proximité de l'eau. Au centre, les couches de grès argileux et calcaires gréseux du Paléogène supérieur. A droite, les sables de l'Erg, le Zellaf avec sa rare végétation.

4. — ERG D'OUBARI.

Un fond d'*Ouadi* ou *Feidj* où se trouve une rare végétation, Au loin, une *Kantara*, suite de dunes souvent hautes de 200 mètres.

5. — BORDURE MÉRIDIONALE DU ZELLAF.

A gauche, une butte nubienne. Au centre et en bas à droite, une zone sombre, humide où la végétation est plus dense : celle-ci s'étend beaucoup plus hors du cadre vers la droite. Au fond et à droite, les sables de l'Erg, le Zellaf.

6. — LA SEBKHRA D'EDRI (Chati occidental).

Accumulation de blocs de sels énormes donnant à l'ensemble l'aspect d'un champ profondément labouré.

(Les photographies 1, 2, 3, 5 ont été prises d'avion durant le trajet Fort Leclerc-Brak.)



1



2



3



4



5



6





**Planche XX**

## LEGENDE DE LA PLANCHE XX

### 1. — ERG D'OUBARI. — LAC DE GABROUN (n° 424).

Photo prise vers l'Est. Le village est groupé à la pointe située à droite.  
Au fond à droite, donc vers le Sud-Est, le lac est dominé par une dune haute d'environ 150 mètres.

### 2. — CALCAIRES DE DOUJAL.

Calcaires bréchoïques épais de 0 m. 80 reposant sur des grès argileux gris-verts.

### 3. — L'OUADI KHNEIR.

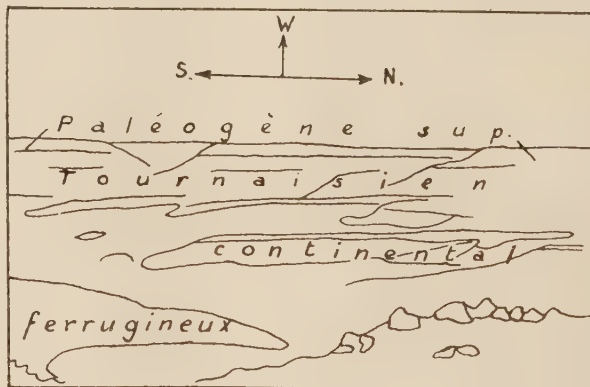
Au premier plan, la dénivellation par laquelle on descend dans l'Ouadi.  
Au fond, la falaise des grès calcaires et molasses du Paléogène supérieur. On discerne, presque au centre, le Roc de Garibaldi.

### 4. — LES GRÈS CALCAIRES ET LES MOLASSES DU PALÉOGÈNE SUPÉRIEUR.

Alternance de bancs d'argiles et de grès à éléments ligniteux à stratification entrecroisée. Au sommet, bancs de grès calcaires.

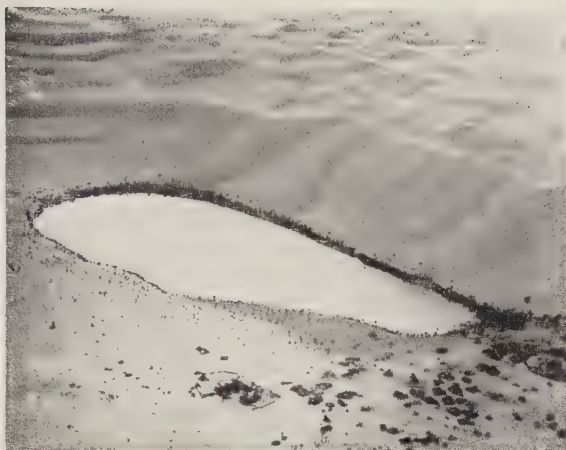
### 5. — CHATI ORIENTAL.

La discordance des formations du Paléogène supérieur sur les grès et argiles du Tournaisien continental (Vue prise vers l'Ouest en direction de Guira qu'on n'aperçoit pas.)

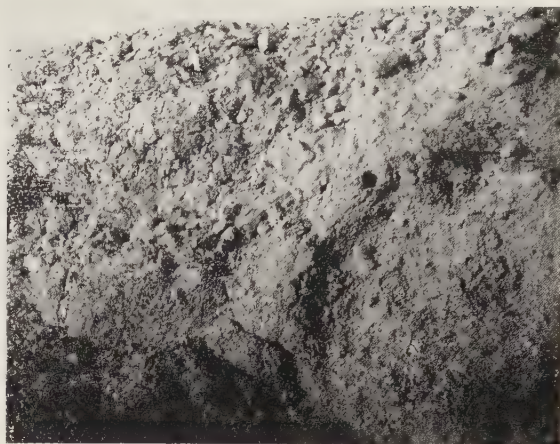


### 6. — LES CALCAIRES DE MOURZOUK.

Affleurement de calcaires du Paléogène supérieur situé à 6 km. au Nord sensiblement de Mourzouk. Ils se présentent sous forme d'une épaisse croûte.



1



2



3



4



5



6



**Planche XXI**



## LEGENDE DE LA PLANCHE XXI

---

1. — AÏN DE ECH-KIDHA, n° 280 (Chati oriental).

L'*Aïn* se trouve au sommet d'une grande butte de sables couverte de jardins. L'eau (31°) ruiselle dans la palmeraie à partir du déversoir qui se trouve à gauche de la photo.

2. — UN DES AÏOUNE DE T'MISSAN (Chati occidental).

Large vasque peu profonde d'où part un fossé qui distribue l'eau dans les *seguias* d'irrigation de la palmeraie.

3. — BIR GUALMARA (n° 515).

Il s'agit d'une butte au sommet de laquelle existe un très léger suintement qui ruisselle et se réinfiltré en quelques mètres à peine. Nous y avons récolté des dépôts ferrugineux (sulfates).

4. — Puits avec bassin d'accumulation (Bir Douessa, n° 282).

Le niveau statique allant croissant au fur et à mesure de l'approfondissement d'un puits, il arrive un moment où l'eau déborde : le point d'eau se présente alors comme un *ain*. L'eau est retenue par un léger remblai, accumulée la nuit et distribuée par gravité sans avoir à la puiser, dans le jardin, vers les *djedouals*.

5. — BRAK.

Vue verticale de la palmeraie, d'une partie du village et, à gauche de l'*ain* principal circulaire (n° 304) (cf. aussi pl. XXII, fig. 1).

6. — JARDINS DE BRAK.

Partie occidentale de la palmeraie. On distingue le bassin circulaire de l'*Aïn* Brou (n° 306).



1



2



3



4



5



6



**Planche XXII**

## LEGENDE DE LA PLANCHE XXII

---

1. — AÏN PRINCIPAL DE BRAK (n° 304).

Bassin circulaire du fond duquel s'élève l'eau à la température de 29°8 avec un léger dégagement gazeux. Au fond, une mosquée du village.

2. — FORAGE DE DOUISSA (n° 291).

Vissage d'un élément de tubes pour avoir une idée du débit spécifique. Débit : 14,8 l/sec.

3. — LE Puits DE Ouen-Arab dans l'Erg d'Oubari (n° 505).

Il se trouve sur le parcours Edri-Oubari. Nous l'avons abordé à la fin d'un violent vent de sable qui se termina par un orage : au cours de celui-ci la région reçut une pluie brutale de 40 mm. Il fallut déblayer le puits ensablé. On distingue à gauche « le palmier de service », dispensateur d'un peu d'ombre.

4. — ERG D'OUBARI. LE LAC DE OUM EL MA.

Ce lac est situé à une demi-journée de marche de Tekertiba et tout proche de celui de Mandara (n° 421). Comme tous les autres lacs, il se trouve au fond d'un Ouadi où est rassemblée toute la végétation qu'on peut rencontrer dans cette région. Celui-ci est enserré entre deux *Kantara*; on voit au fond la *Kantara* qui sépare cet Ouadi de celui de Maharouga.

5, 6. — ERG D'OUBARI. LE LAC DE MAHAROUGA.

Ce lac (n° 422) est lui-même voisin de Mandara. Il est sec en été. On distingue les larges figures de retrait des argiles qui en tapissent le fond : les polygones ainsi dessinés atteignent des diamètres de l'ordre de 4 à 6 mètres.





1



2



3



4



5



6



**Planche XXIII**

## LEGENDE DE LA PLANCHE XXIII

---

1. — ERG D'OUBARI. LAC DE OUM EL HASSAN.

C'est le plus grand lac de la région (n° 426). Comme les autres, il est bordé au SE par les dunes qu'on ne peut voir sur la photo.

2. — ERG D'OUBARI. LAC DE EL EMBA.

Celui-ci (n° 498), se trouve à l'écart de la *zone des lacs*. Il est lui aussi bordé au SE par des dunes et ceint d'une abondante végétation qui s'étend au fond de l'Ouadi où il se trouve.

3. — ERG D'OUBARI. LAC DE MAAFOU (n° 423).

Il se trouve à environ une heure de marche du lac de Gabroun (n° 424) comme ce dernier dominé par une haute dune vers le SE.

4. — JARDINS DE LA RÉGION DE MOURZOUK.

On remarque l'allure rayonnée des jardins disposés autour des puits dans le sens de la pente du terrain.

5. — LE PUIT ÉQUIPÉ D'UN DALOU (Région d'Oubari).

Deux mâts (troncs de palmiers) sérieusement haubannés se dressent du fond de la vasque. L'outre, le *dalou*, remonte de 12 à 15 litres d'eau qui sont déversés dans la gouttière inclinée (tronc de palmier creusé) qui les conduit au bassin d'où partent les *seguias* d'irrigation. Le *dalou* est accroché à un cable qui passe sur une poulie située en haut des mâts et que tire des bourricots (parfois des hommes) conduits par les *djebads* (tireurs d'eau) sur un plan incliné dont la longueur traduit la profondeur du puits.

6. — SOUILA. PUIT A 4 DALOUS.

Puits profond et capable d'un débit suffisant qui permet une grande cadence de puisage.





1



2



3



4



5



6





**Planche XXIV**

## LEGENDE DE LA PLANCHE XXIV

---

1. — RÉGION DE TRAGHEM.

Au SO de cette localité, l'eau affleure librement en maints endroits. La végétation est luxuriante; çà et là existent des jardins.

2. — AÏN ES SOUFFI, A TRAGHEM, n° 325 (Hofra).

Le niveau de son plan d'eau est plus élevé que celui du puits voisin dont on aperçoit les mâts du *dalou*. Son eau s'écoule et sert en partie à l'irrigation du jardin voisin; le reste se perd dans la végétation environnante.

3. — TEKERTIBA (Ouadi el Ajal).

Deux *dalous* puisent dans la large vasque où l'eau est abondante (n° 406).

4. — GATROUN.

Quoique l'eau soit proche de la surface du sol, il faut l'élever pour permettre l'irrigation des parcelles voisines. Il existe de nombreux puits où l'eau est à une profondeur plus grande et à un niveau inférieur à celui de ce petit lac.



1



2



3



4





**Planche XXV**

## LEGENDE DE LA PLANCHE XXV

---

1. — BASALTES DU DJEBEL FEZZAN (zone orientale).

Basaltes à plagioclases et Olivine très altérée. — Nombreuses traces d'oxydes de fer. —  $\times 35$ ; lumière naturelle.

2. — *Idem*; lumière polarisée.

3. — BASALTES DU DJEBEL FEZZAN (zone septentrionale).

Basalte doléritique à plagioclases basiques et olivine très altérés. —  $\times 35$ ; lumière naturelle.

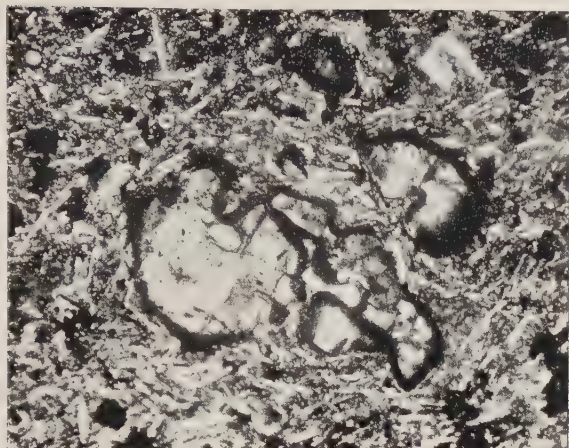
4. — *Idem*; lumière polarisée.

5. — SONDAGE D'OUENZERIK, n° 546 (Chati).

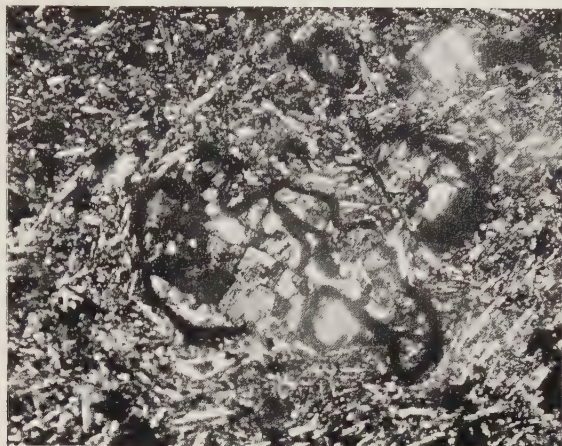
Quartzites. Profondeur : 81 m. Grains tendant vers des contours hexagonaux par nourrissage. —  $\times 35$ ; lumière polarisée.

6. — SONDAGE DE GOTTA, n° 543 (Chati).

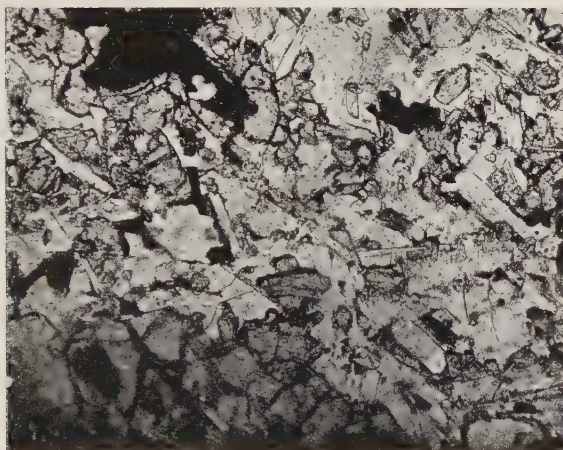
Grès ferrugineux : 66, 50 m. Grains très altérés de tailles variées; les petits (0,008 m/m) sont extrêmement nombreux. Le ciment ferrugineux est, somme toute, peut abondant. —  $\times 35$ ; lumière polarisée.



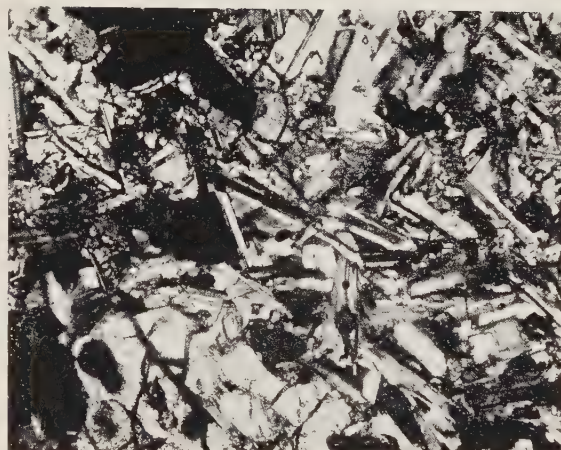
1



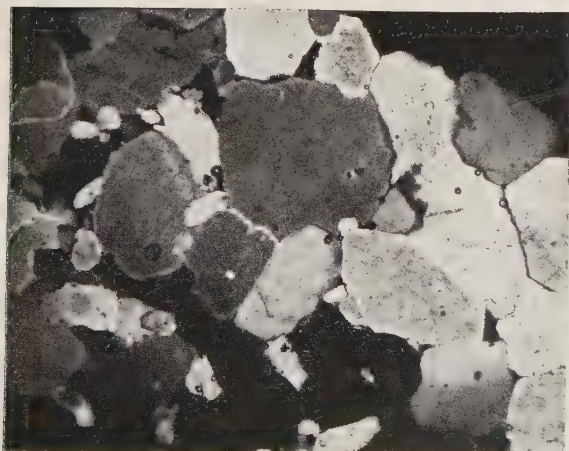
2



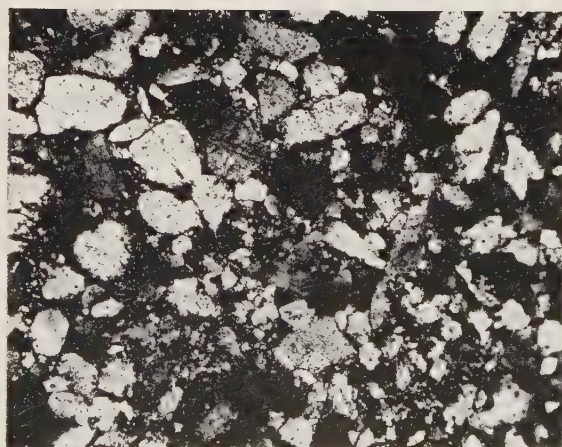
3



4



5



6



**Planche XXVI**



## LEGENDE DE LA PLANCHE XXVI

---

1. — GRÈS NUBIENS, prélevés entre Tejerhe et Gatroun.

Grès ferrugineux à grains de quartz très altérés; prédominance de formes arrondies ou subanguleuses dans les grains. —  $\times 35$ ; lumière naturelle.

2. — GRÈS DU PALÉOGÈNE SUPÉRIEUR prélevés au pied du Roc de Garibaldi-Khneir.

Grès à grains très altérés à ciment d'opale phylliteux. —  $\times 35$ ; lumière naturelle.

3. — *Idem.*

L'altération des grains apparaît; rares traces d'oxydes de fer. —  $\times 140$ ; lumière naturelle.

4. — *Idem.*

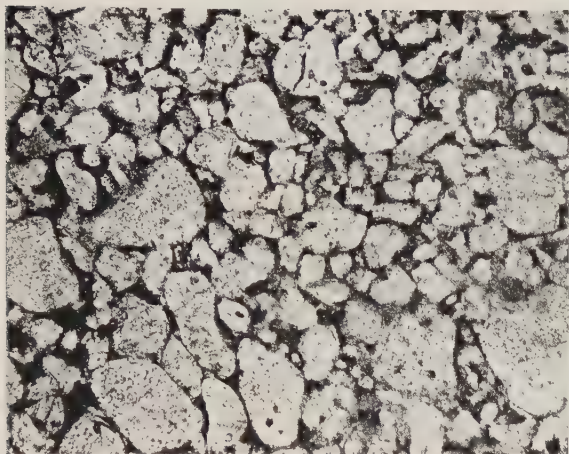
On distingue la disposition orientée des fibres phylliteuses. Le ciment d'opale, amorphe, est éteint. —  $\times 140$ ; lumière polarisée.

5. — GRÈS DU PALÉOGÈNE SUPÉRIEUR prélevés au voisinage de El Bder (Hofra).

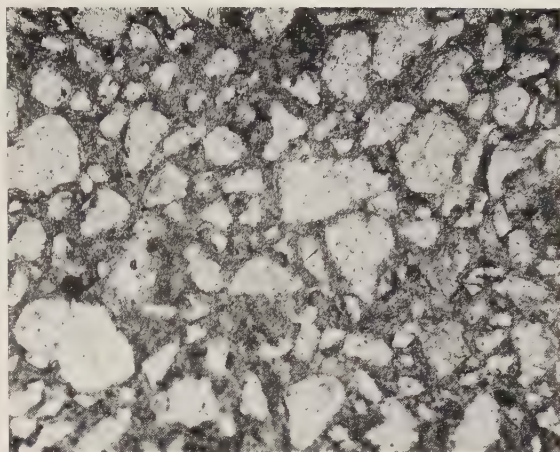
Gros grains arrondis, globuleux; petits grains anguleux ou subanguleux; peu de formes intermédiaires. Quelques traces d'oxydes de fer. —  $\times 35$ ; lumière naturelle.

6. — *Idem.*

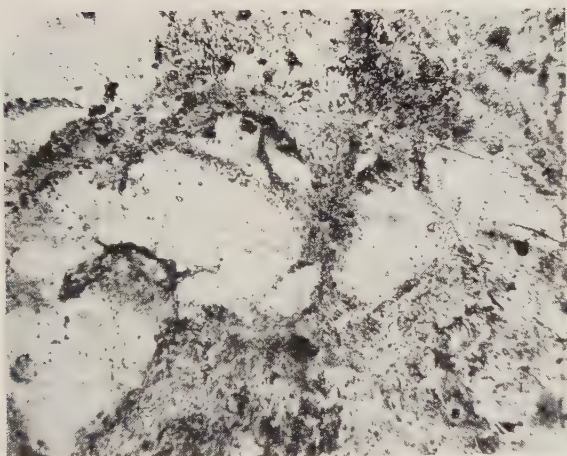
La disposition orientée des fibres phylliteuses ressort nettement: celles-ci, polarisant dans les blancs et jaunes probablement du deuxième ordre, ont une extinction droite et un allongement positif. —  $\times 35$ ; lumière polarisée.



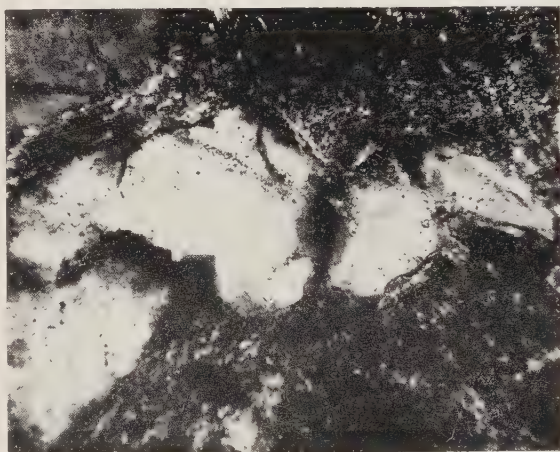
1



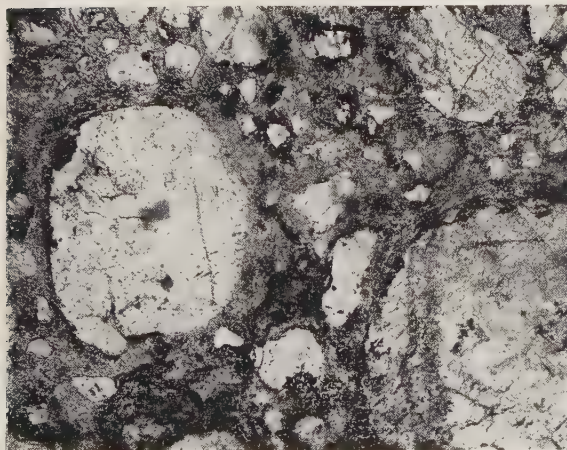
2



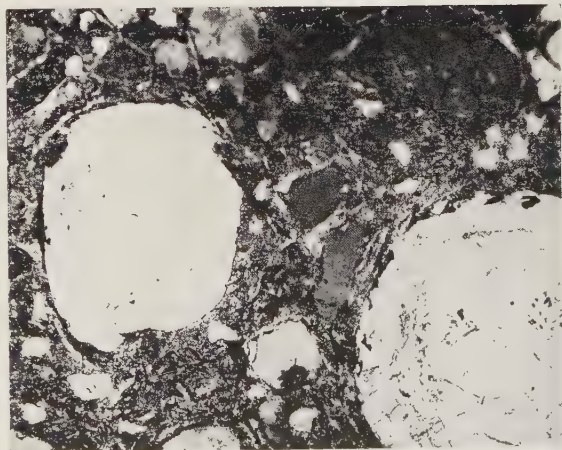
3



4



5



6



**Planche XXVII**



## LEGENDE DE LA PLANCHE XXVII

---

1. — OUM EL ABID (Bouanis).

Calcaires du Paléogène supérieur, compacts à traces ferrugineux. —  $\times 35$ ; lumière naturelle.

2. — GHREIFA (Ouadi el Ajal).

Calcaires du Paléogène supérieur, vacuolaires; calcite à gros grains dans les géodes; masse microgrenue ferrugineuse. —  $\times 35$ ; lumière naturelle.

3. — GATROUN.

Calcaires quaternaire, gypseux, ferrugineux. —  $\times 35$ ; lumière naturelle.

4. — KHNEIR.

Calcaires du Paléogène supérieur, gréseux, à grains anguleux bien répartis, auréolés de calcite plus grossièrement grenue que le ciment qui est teinté, ferrugineux. Quelques plages de calcite. —  $\times 35$ ; lumière naturelle.

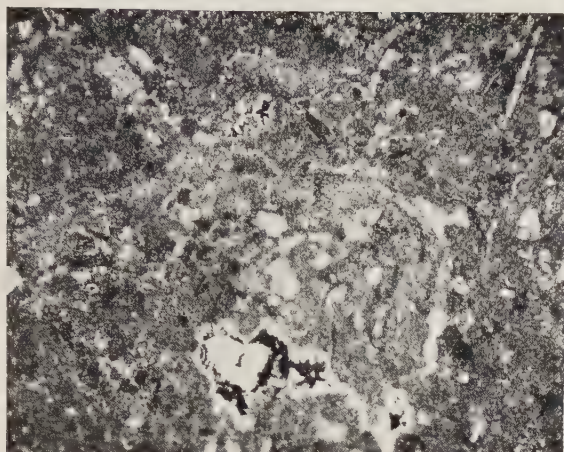
5. — FONGOUL.

Calcaires du Paléogène supérieur, compacts; accident gréseux à grains globuleux et subanguleux, comportant lui-même une zone opalisée. —  $\times 35$ ; lumière naturelle.

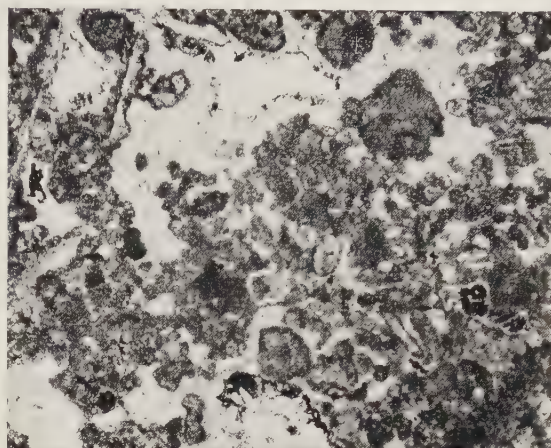
6. — *Idem*

La zone opalisée apparaît éteinte au bas de l'accident gréseux. —  $\times 35$ ; lumière polarisée.

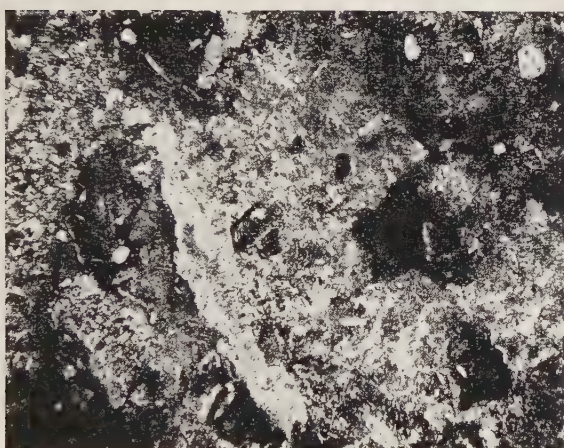




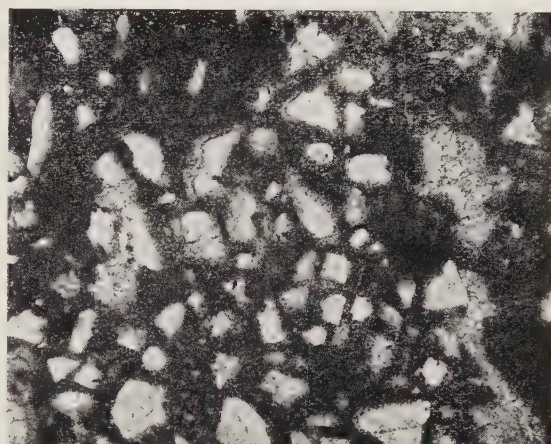
1



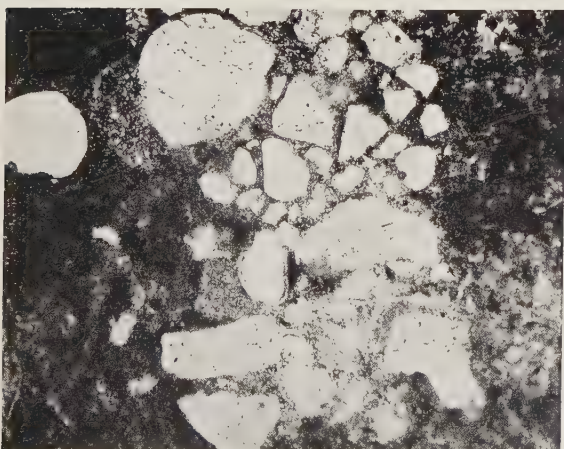
2



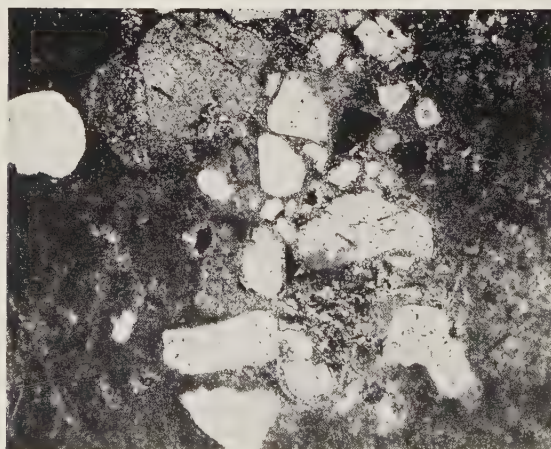
3



4



5



6



**Planche XXVIII**



## LEGENDE DE LA PLANCHE XXVIII

---

1. — KHNEIR.

Calcaires gréseux du Paléogène supérieur. Les grains sont entourés d'une auréole d'opale et de fibres de phyllite. —  $\times 35$ ; lumière naturelle.

2. — *Idem.*

L'auréole d'opale apparaît nettement. —  $\times 35$ ; lumière polarisée.

3. — MAJEDOUL.

Calcaires gréseux du Paléogène supérieur. Les grains altérés, sont auréolés d'une large bande de calcite qui, à l'extrême, à la disparition des grains, donne une plage de calcite dont la maille se distingue de celle plus fine de la masse qui est teintée. —  $\times 35$ ; lumière naturelle.

4. — *Idem.*

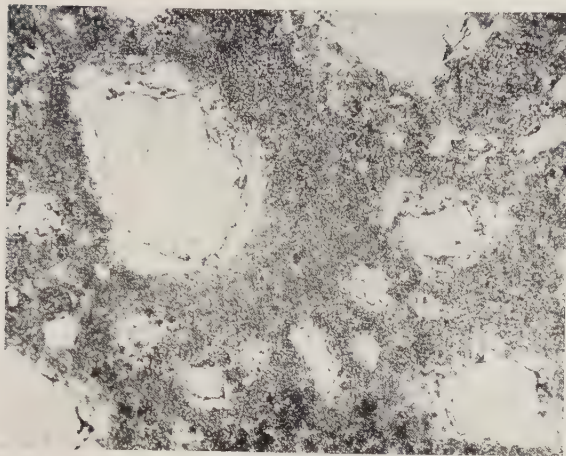
Altération d'un grain et portion d'auréole de calcite. —  $\times 280$ ; lumière naturelle.

5. — MOURZOUK.

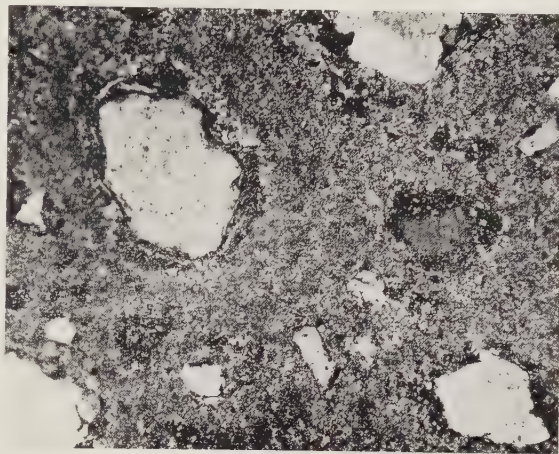
Grès calcaires du Paléogène supérieur. Grains globuleux et subanguleux à auréoles superposées de calcite et d'oxydes de fer. —  $\times 35$ ; lumière naturelle.

6. — KHNEIR.

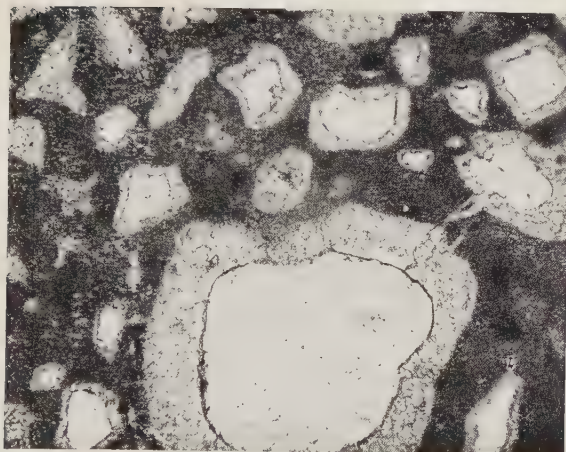
Calcaires gréseux du Paléogène supérieur. Grains globuleux et subanguleux auréolés de calcite macrogrenue qui se distingue du ciment à maille plus fine, teinté. —  $\times 35$ ; lumière naturelle.



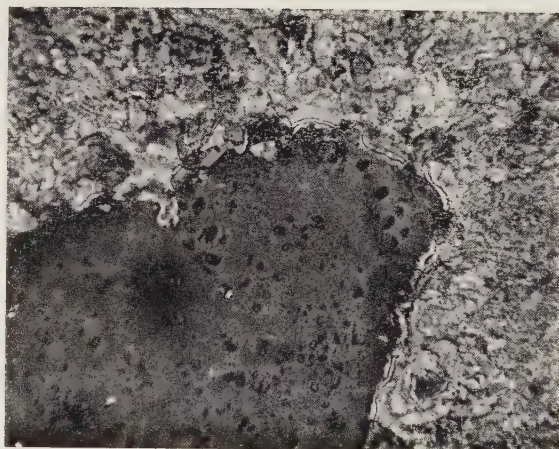
1



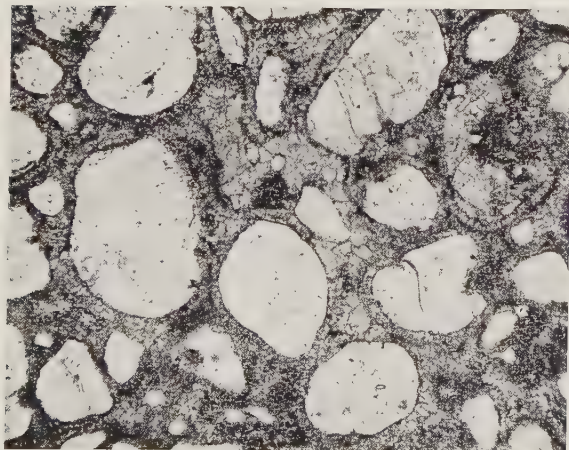
2



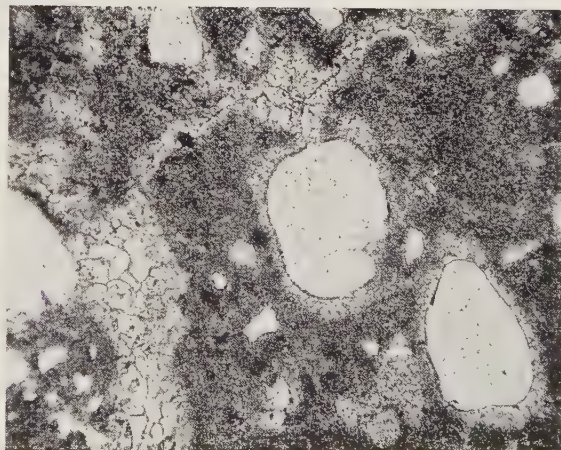
3



4



5



6





**Planche XXIX**

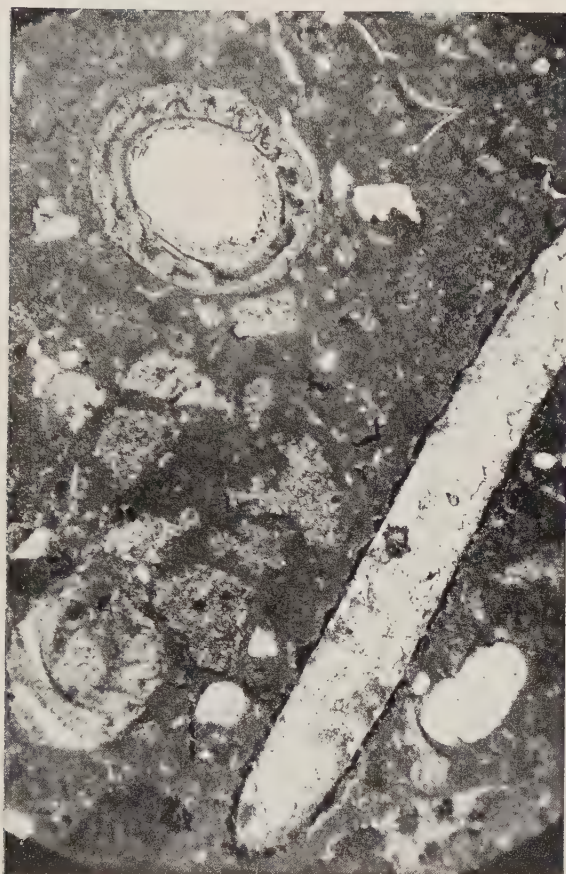
## LEGENDE DE LA PLANCHE XXIX

---

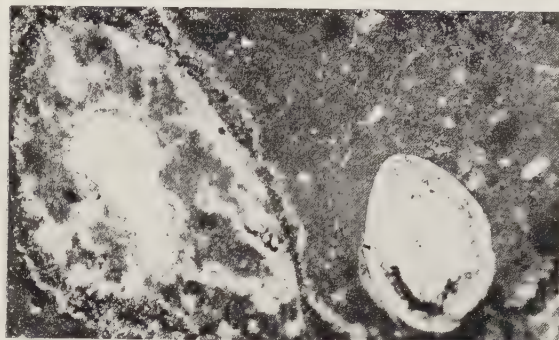
### MICROORGANISMES OBSERVES DANS LES CALCAIRES DU PALEOGENE SUPERIEUR

1. — EL HASSI. — Spicule, *Chara*.
2. — *Idem.* — Coupe de coquille; appareil brachial visible (Brachiopode ?)
3. — HAMADA DE MOURZOUK. — Coupes de coquille (Ostracode ?).
4. — *Idem.* — Coupes.
5. — 50 KMS AU S. DE MAJEDOUL. — Coupes (Ostracode, Brachiopode ?).
6. — FONGOUL (HOFRA). — *Idem.*

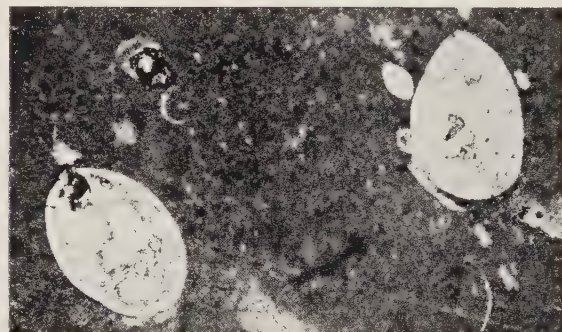
(Tous les clichés sont pris en lumière naturelle. —  $\times 35$ )



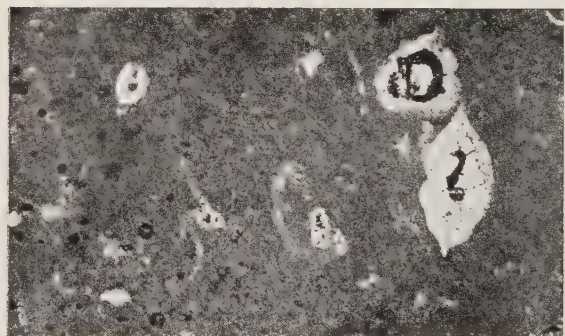
1



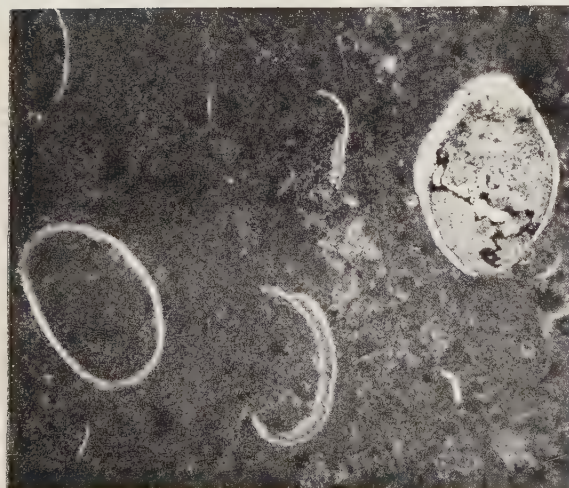
2



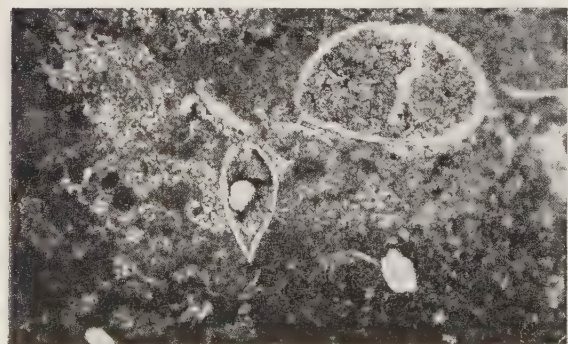
3



4



5



6





**Planche XXX**

## LEGENDE DE LA PLANCHE XXX

---

### SABLES ÉOLIENS. — Dune de Ouen-Arab (Erg d'Oubari)

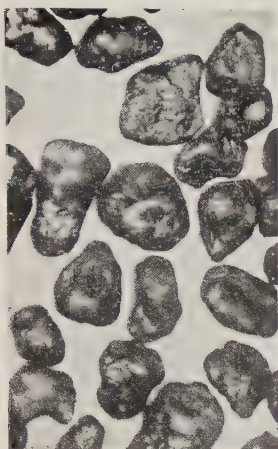
1. — Formes essentiellement globuleuses. Surfaces taraudées, guillochées, polies.
2. — Formes encore globuleuses mais surtout subanguleuses (angles très usés).
3. — Contours anguleux peu ou parfois pas usés; quelques sections fraîches.
4. — Contours anguleux; éclats; sections fraîches prépondérantes.

### SABLES D'OUEDS — *Oued Guira (Chati)*

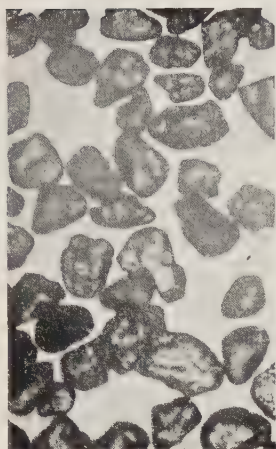
5. — Formes rarement globuleuses; angles souvent nets. Eléments limoniteux nombreux.
6. — Formes anguleuses parfois usées, surfaces tauraudées ou tailladées; quelques sections fraîches.
- 7, 8. — Eclats, sections fraîches.

### SABLES LACUSTRES. — *Grès du Paléogène supérieur de El Hassi et du Zellaf septentrional*

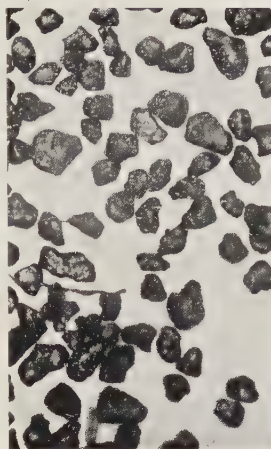
9. — Formes presque toujours subanguleuses, usées, parfois taraudées; surfaces polies, quelques sections fraîches.
10. — Formes subanguleuses et anguleuses et parfois globuleuses, polies; sections fraîches multiples.
11. — *Idem.*
12. — Eclats, sections fraîches.



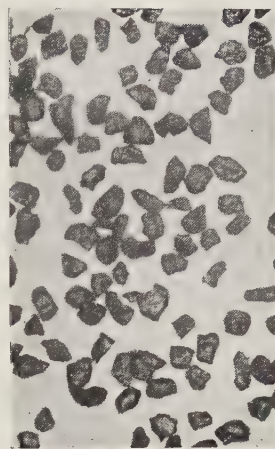
1



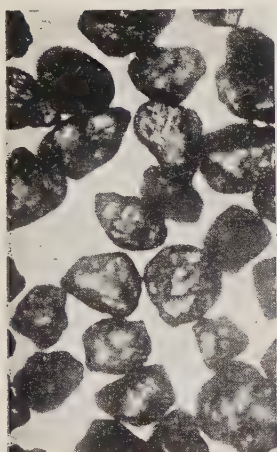
2



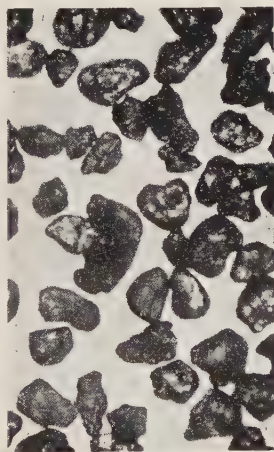
3



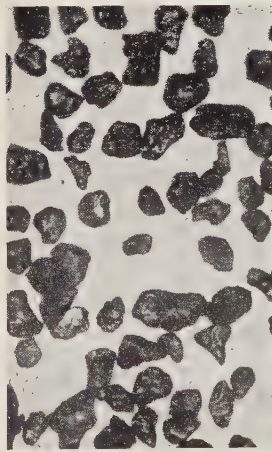
4



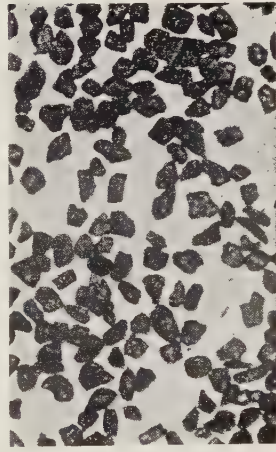
5



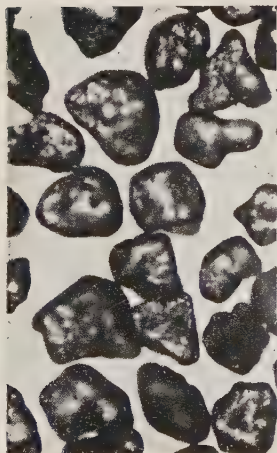
6



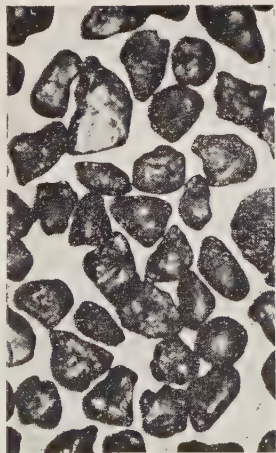
7



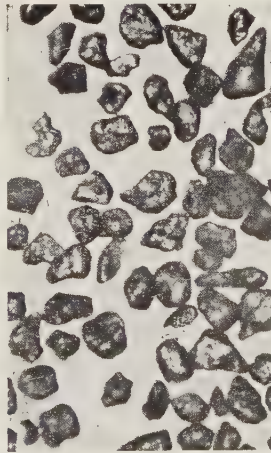
8



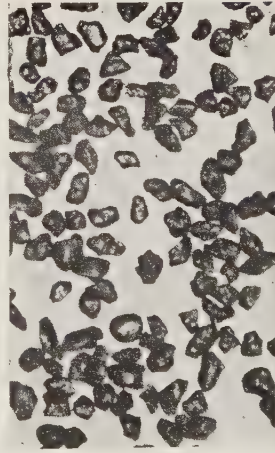
9



10



11



12



**Planche XXXI**



## LEGENDE DE LA PLANCHE XXXI

### LE FER DU CHATI

1. — OOLITES FERRUGINEUSES (près de Guira).

Cœur : monocristal de *Gæthite* (blanc), d'*Oligiste* (gris) ou de matière opaque noire (gel). Enveloppe : *Gæthite*, *Oligiste* ou quelquefois *Limonite* (noir). Ciment : *Gæthite*, *Limonite* ou *Stilpnosidélite* (gel) noire.

*Lab. Min. Toul.* —  $\times 102$ ; lumière réfléchie naturelle.

2. — OOLITES FERRUGINEUSES (près de Guira).

Surface altérée. Oolites dans un ciment de *Gæthite* et de *Limonite* ou *Stilpnosidélite*. —  $\times 56$ ; lumière réfléchie naturelle

3. — MASSE GRÉSEUSE (S. d'Ouenzerik, limite du Zellaf).

Grains de *Quartz* (gris sombre) dans un ciment de *Gæthite*, d'*Oligiste* et d'hydroxydes de fer. — *Lab. Min. Toul.* —  $\times 102$ ; lumière réfléchie naturelle.

4. — MASSE FERRUGINEUSE (NE de Bir Gualmara).

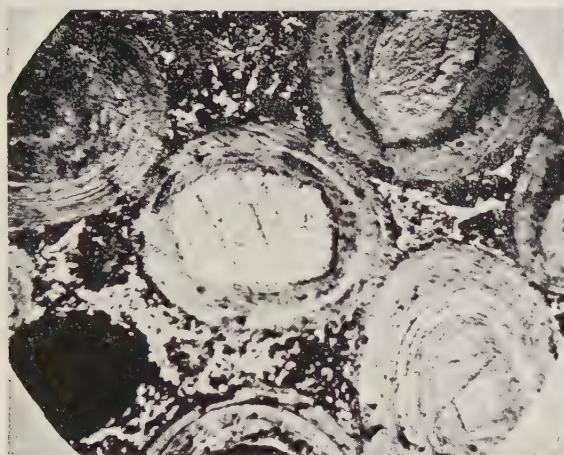
Traces d'oolites à cœur de *Quartz* altéré. Ciment opaque ferrugineux. Quelques fibres de *mica blanc*. —  $\times 35$ ; lumière naturelle.

5. — MASSE FERRUGINEUSE (NE de Bir Gualmara).

Zones contenant des grains de *Quartz* de tailles variées. Ciment opaque ferrugineux. —  $\times 35$ ; lumière naturelle.

6. — GRÈS FERRUGINEUX (S. de Agar).

Grains de *Quartz* globuleux ou subanguleux altérés dans un ciment opaque ferrugineux. —  $\times 35$ ; lumière naturelle.



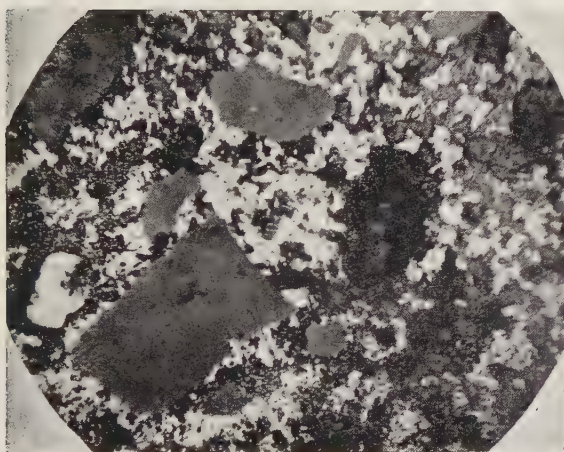
(Cliché LAB. MIN. TOULOUSE)

1



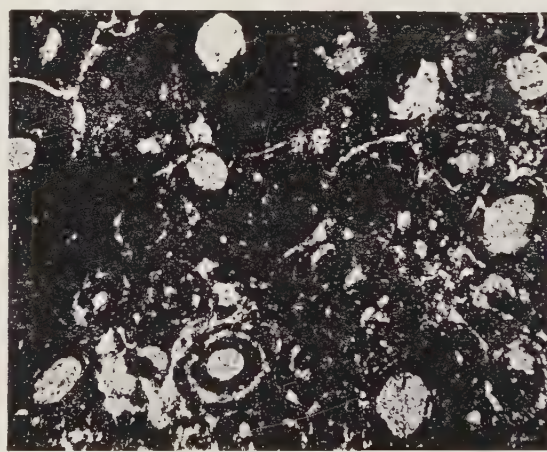
(Cliché M. ARNOULD)

2



(Cliché LAB. MIN. TOULOUSE)

3



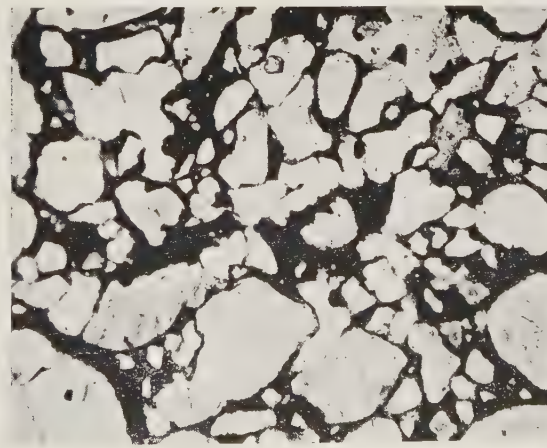
(Cliché M. ARNOULD)

4



(Cliché M. ARNOULD)

5



(Cliché M. ARNOULD)

6



**Planche XXXII**



## LEGENDE DE LA PLANCHE XXXII

---

- 1 a, b. — *Glossina Thiryi* BARROIS, PRUVOST, DUBOIS. — Empreintes dans un bloc argilo-schisteux.  
Tanezzouft. —  $\times 1$ .
2. — *Spirifer fezzanensis* nov. sp. G. MATHIEU. — a : holotype; b,c,d : paratypes — Moules internes.  
Aouinet-Ouennin. —  $\times 2$ .
3. — *Atrypa spinosa* HALL. — Moule interne de valve ventrale; granulation visible en zones concentriques.  
Serdelès. —  $\times 2$ .
4. — *Rhynchonella letiensis* GOSSELET. — Moule interne de valve ventrale.  
Aouinet-Ouennin. —  $\times 2$ .
5. — *Phyllipsia gemmulifera* PHILL. — Fragment de pygidium. Le rachis ne semble pas se prolonger jusqu'au bord postérieur. Granulation visible à droite.  
Aouinet-Ouennin. —  $\times 3$ .
6. — *Euomphalus Dionysii* MONTFORD. — Portion de spire. Angle spiral :  $98^\circ$ .  
Chati. —  $\times 1,5$ .
7. — *Dentalium ornatum* DE KONINCK. — Orifice de la cavité s'enfonçant dans un handstück. Ornementation très visible.  
Chati. —  $\times 1,5$ .
8. — *Avicula dumontiana* DE KONINCK. — a : valve droite; b : valve gauche.  
Chati. —  $\times 1$ .
9. — *Rhynchonella carringtoniana* DAVIDSON. — a, b : valves ventrales; c : valve dorsale; moules internes.  
Chati. —  $\times 1,5$ .
10. — *Striatifera undata* DEFRANCE. — Moule interne net de valve ventrale.  
Aouinet-Ouennin. —  $\times 2$ .
11. — *Pyrgula tuberculata* MULLER. — a, b : coquilles récoltées de tailles minimum et maximum.  
Chati. —  $\times 2$ .







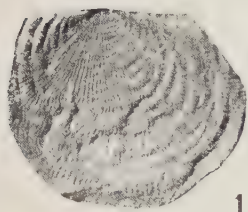
**Planche XXXIII**

### LEGENDE DE LA PLANCHE XXXIII

---

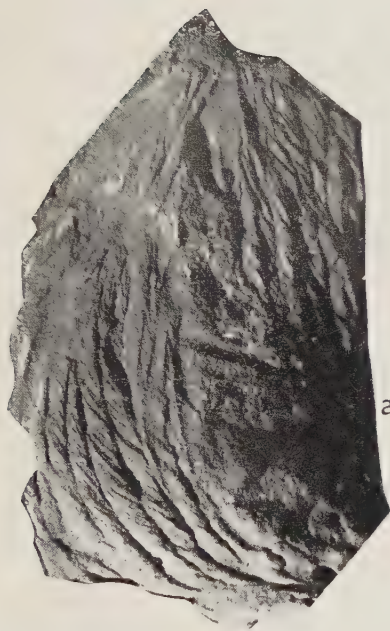
1. — *Striatifera undata* DEFRANCE. — Empreinte abimée; les plis concentriques ont été écrasés.  
Serdelès. —  $\times 2$ .
2. — Couches à *Striatifera* de Serdelès. — On discerne les empreintes. Les plis concentriques étant écrasés, les fines cotes radiaires prennent une allure ondulée. —  $\times 1$ .
- 3 a, b. — Empreintes de T'Missan (Chati). —  $\times 1,5$ .
4. — Lumachelle à *Cardium*. — Entre Berguen et Douissa (Chati). —  $\times 1$ .
5. — *Cardium* (*Cerastoderma*) *edule* LINNÉ var. *lamarcki* REEVE. — a, b : 2 valves opposées. —  $\times 2$ .
6. — *Cardium* (*Cerastoderma*) *edule* LINNÉ var. *quadrata* B.D.D. — a, b : 2 valves opposées. —  $\times 2$ .





1

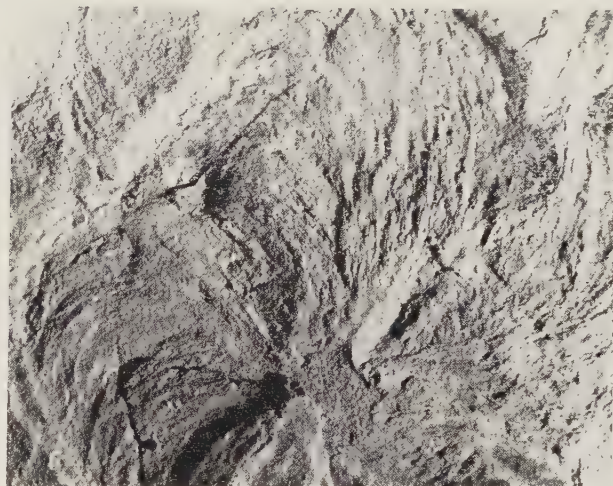
2



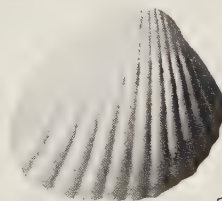
a

3

b

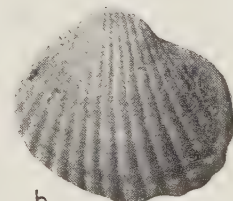


4

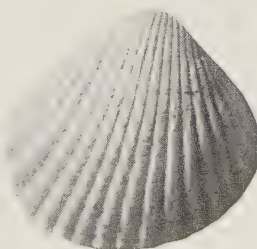


a

5

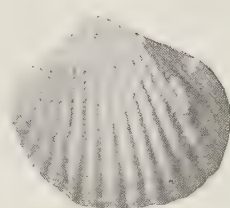


b



a

6



b





**2° THESE**

EXPOSE SUR LES DIVERSES METHODES DE REPRESENTATIONS  
GRAPHIQUES DES CARACTERES CHIMIQUES DES EAUX.  
APPLICATION A L'HYDROGEOLOGIE

---

Vu :

Nancy. le 20 mars 1952.

*P<sup>r</sup> le Doyen,*  
*l'Assesseur Délégué :*  
Signé : P. REMY.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Nancy, le 21 mars 1952.

*P<sup>r</sup> le Recteur,*  
*Le vice-Président du Conseil de l'Université :*  
Signé : J. PARISOT.













